

**Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Direktor: Prof. Dr. med. Peter Falkai

**Reliabilitätsprüfung und Differenzierung von ereigniskorrelierten
Potentialen in Zusammenhang mit Entscheidungs- und
Verhaltenskontrollprozessen**

**Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin an der
medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München**

vorgelegt von
Fabian Arne Loy
aus München
2015

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Professor Dr. med. Oliver Pogarell
Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Berend Feddersen
Prof. Dr. Ernst Pöppel
Mitbetreuung durch die prom. Mitarbeiterin: PD Dr. Dipl.-Psych. Susanne Karch
Dekan: Prof. Dr. h.c. Maximilian Reiser, FACR, FRCR
Tag der mündlichen Prüfung: 18.06.2015

Mensch erhofft sich leis' und still,
dass er einst das kriegt, was er will,
bis er dann doch dem Wahn erliegt
und schliesslich das will, was er kriegt!

Eugen Roth (1895 bis 1976)

Inhalt

1. Einleitung	7
1.1. Fokus der Arbeit	7
1.1.1. Exekutive Funktionen	7
1.1.1.1. Elektroencephalogramm	9
1.1.1.2. Ereigniskorrelierte Potentiale	10
1.1.1.3. Einflussfaktoren auf endogene Potentiale	13
1.1.1.4. Entscheidungsprozesse und Konfliktlösung	15
1.1.1.5. Hemmung von Verhaltenstendenzen (Inhibition)	16
1.1.1.6. Volition	17
1.1.1.7. Intentionales Verhalten - Zusammenfassung.....	21
1.2. Ziele der Arbeit.....	23
1.2.1. Fragestellung.....	23
1.2.2. Hypothesen.....	24
2. Material und Methoden	25
2.1. Versuchspersonen	25
2.2. Versuchsanordnung	25
2.2.1. Experiment 1: „Ja-nein-Paradigma“	26
2.2.2. Experiment 2: „Re-li-Paradigma“	27
2.3. Datenerhebung	27
2.3.1. Erzeugung akustischer Stimuli	27
2.3.2. Aufzeichnung der behavioralen Daten	28
2.3.3. Aufzeichnung der EEG-Daten	28
2.3.4. Auswertung der EEG-Daten	29
2.4. Statistik	31
2.4.1. Ausreißer-Analyse	32
2.4.2. Auswertung der Fragebögen	32
2.4.3. Auswertung der evozierten Potentiale	32
2.4.4. Korrelationen	33
2.4.5. Signifikanz	33
2.5. Stichprobe	33
2.5.1. Einschlusskriterien	34

2.5.2. Ausschlusskriterien	34
2.5.3. Demographische Daten	35
2.5.3.1. Demographische Daten des „Ja-nein-Paradigmas“	35
2.5.3.2. Demographische Daten des „Re-li- Paradigmas“	36
2.5.4. Psychometrische Erhebungen	36
2.5.4.1. Soziodemographische Daten	37
2.5.4.2. State-Trait-Angstinventar (STAI)	37
2.5.4.3. State-Trait-Ärger-Ausdrucks-Inventar (STAXI)	38
2.5.4.4. Beck-Depressions-Inventar (BDI)	40
2.5.4.5. Visuelle Analogskala zur Motivation und Anstrengung	41
2.5.4.6. Wortschatztest (WST)	42
2.5.4.7. NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)	42
3. Ergebnisse	43
3.1. Verhaltensdaten	45
3.1.1. Experiment 1: „Ja-nein-Paradigma“	45
3.1.1.1. Anzahl der Reaktionen	45
3.1.1.2. Reaktionszeiten	45
3.1.2. Experiment 2: „Re-li-Paradigma“	46
3.1.2.1. Anzahl der Reaktionen	46
3.1.2.2. Reaktionszeiten	46
3.1.3. Gesamtstichprobe	47
3.2. Elektrophysiologische Daten	47
3.2.1. Amplitudeneffekte bei Elektroden und Bedingungen	48
3.2.1.1. Ja-nein-Paradigma	48
3.2.1.2. Re-li-Paradigma	50
3.2.1.3. Re-li-Paradigma und Ja-nein-Paradigma	51
3.2.1.4. Re-li-Paradigma versus Ja-nein-Paradigma	52
3.2.2. Korrelationen von psychometrischen mit elektrophysiologischen Daten	53
3.2.3. Korrelationen von Verhaltens- mit elektrophysiologischen Daten	54
4. Diskussion	54
4.1. Verhaltensdaten	54
4.2. N200-Potential	56

4.3. P300-Potential	58
4.4. Retest-Reliabilität	60
4.5. Vergleich beider Paradigmen – Entscheidungsart.....	61
4.6. Entscheidungsausrichtung – Vergleich links versus rechts	63
4.7. Einfluss psychometrischer und demographischer Daten	63
4.8. Konzept intentionales Verhalten	64
4.9. Schlussfolgerungen	66
5. Zusammenfassung	67
6. Literaturverzeichnis	72
7. Tabellenverzeichnis	94
8. Abbildungsverzeichnis	95
9. Danksagung	96

1. Einleitung

1.1. Fokus der Arbeit

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Methoden in der Hirnfunktionsforschung hat sich ein beachtlicher Erkenntnisprung beim Verständnis der physiologischen Hirnfunktion ergeben. Folgender Zusammenhang ist wahrscheinlich: je besser man in der Lage ist, die Hirnfunktion der Norm entsprechender Menschen nachzuvollziehen, desto eher wird man neurologische beziehungsweise psychische Erkrankungen in Abgrenzung dazu verstehen und adäquate Behandlungsmöglichkeiten erkennen können. In diesem Kontext sind in den letzten Jahrzehnten exekutive Funktionen als ein Schwerpunkt neurophysiologischer Forschung zu nennen. Exekutive Funktionen dienen unter anderem der Kontrolle sowie gegebenenfalls Modifikation und somit Steuerung von Verhaltensweisen, um diese zielorientiert verschiedenen Situationen anzupassen. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung elektrophysiologischer Korrelate intentionalen Verhaltens bei gesunden Probanden. Es ist bekannt, dass sich Entscheidungsprozesse bei vielen psychiatrischen Erkrankungen als verändert darstellen. Deshalb ist unser Versuch, der Etablierung eines Paradigmas mit retestreliablen elektrophysiologischen Korrelaten bei intentionalem Verhalten Gesunder ein erster wichtiger Schritt, um in der Folge Abweichungen davon bei psychiatrischen Patienten detektieren zu können.

1.1.1. Exekutive Funktionen

Exekutive Funktionen werden besonders mit frontalen Hirnregionen in Verbindung gebracht (Schneider und Fink, 2007; Monsell et al., 2000; Norman and Shallice, 1986).

Bis zum jetzigen Zeitpunkt existiert jedoch keine allgemein anerkannte Definition exekutiver Funktionen. Es handelt sich um komplexe, nicht-routinierte Prozesse, die ein ausgedehntes neuronales Netzwerk beanspruchen und ein hohes Ausmaß an kognitiver Flexibilität erfordern (Drechsler, 2007; von Cramon, 2000, Schneider 2006). Einig ist man sich auch darüber, dass sich die exekutiven Funktionen aus „spezifizierten Teilprozessen“ zusammensetzen (Drechsler, 2007). Diese getrennt voneinander neurophysiologisch zu untersuchen, wird als aussagekräftiger und erfolgsversprechender erachtet als sich exekutiven Funktionen als Gesamtkonstrukt zu widmen (Drechsler, 2007; Stuss & Benson, 1986; Sturm, 2000). Zu den

exekutiven Funktionen zählen folgende Entitäten: Planungs- und Strategiebildung, Flexibilität, Reizunterdrückung beziehungsweise eine Selektion oder Differenzierung von wichtigen gegenüber unwichtigen Informationen sowie Entscheidungsfähigkeit und Einsicht bei konflikthaften Lösungsmöglichkeiten (Gwiggner, 2004). Lezak versucht den Begriff „exekutive Funktionen“ folgendermaßen zu fassen: Kognitive Kontrollprozesse, die zu situationsgerechter sowie autonomer, an die Erreichung individueller subjektiver Ziele angepasste Ausführung von Handlungen befähigen (Lezak et al., 2004). Smith und Kollegen unternahmen den Versuch exekutive Funktionen in fünf Prozesskomponenten zu unterteilen (Smith et al. 1999):

- Hemmung von Informationen:
Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf relevante Informationen sowie Hemmung irrelevanter Informationen;
- Ablauforganisation:
Erstellung eines Ablaufschemas für komplexe Handlungen mit raschem Wechsel zwischen den beteiligten Komponenten;
- Planen:
Mentale Sequenzierung von Handlungsschritten zur Zielerreichung;
- Überwachen:
Überwachen von Handlungsschritten und Abgleich der handlungsleitenden Zielintention mit dem aktuellen Stand der Handlung
- Kodieren:
Protokollierung der externen Ereignisse und internen Prozesse im Arbeitsgedächtnis

1.1.1.1. Elektroencephalogramm

In dem Elektroencephalogramm (EEG) werden postsynaptische Summenpotentiale von der Kopfhaut über Elektroden abgeleitet. Postsynaptische Potentiale (Potentialdifferenz von subsynaptischer und postsynaptischer Membran) sind deutlich träger als die Aktionspotentiale der Ganglienzellen. Zudem gehorchen sie nicht dem Alles-oder-nichts-Prinzip (Creutzfeldt und Kuhnt, 1967, 1973; Zschoke, 2011). Die postsynaptischen Potentiale überlagern sich und bilden zusammen räumlich weitreichende Potentialfelder, die im EEG dargestellt werden können (Zschocke, 2011). Ausschlaggebend für die Abbildung im EEG sind vor allem Neurone mit senkrechter Orientierung. Dabei handelt es sich zumeist um Pyramidenzellen in der 5. Schicht der Hirnrinde. Die Mehrzahl der kortikalen Neurone sind Schaltzellen. Diese haben unterschiedliche synaptische Zuflüsse, welche im Fokus der räumlichen Orientierung zu diffuser Entwicklung von Dipolarität führen. Im EEG wird ein negatives Potential registriert, wenn die negative Seite eines Dipols Richtung Skalp orientiert ist. Dies ist zum Beispiel im Rahmen eines postsynaptischen Feldpotentials der Fall, das bei Aktivierung exzitatorischer Synapsen im Bereich der apikalen Dendriten von senkrecht zum Skalp orientierten großen Pyramidenzellen entsteht (Zschoke, 2011). Ein negatives Potential wird nach elektrophysiologischer Konvention im EEG mit einem nach oben orientierten Ausschlag registriert. Bei der Aktivierung inhibitorischer Synapsen im Bereich apikaler Dendriten verhält es sich genau umgekehrt. Der Ausschlag (die Amplitude) wird in Volt (V) gemessen und dargestellt. Es handelt sich dabei um ein schwaches bioelektrisches Signal. Deshalb wird es durch einen Differenzverstärker amplifiziert. Dieser misst und verstärkt den Unterschied der elektrischen Aktivität zwischen Elektrode und Referenzelektrode.

Durch die im weiteren Verlauf eingehender erläuterte Computer-gestützte Mittelungs-Technik (Hegerl, 1998) ist es möglich, ereigniskorrelierte synchrone Potentialschwankungen unter anderem von Spontanaktivität der Neurone, die sich in dem EEG in dem Wachzustand in der Regel als Alpha- oder Beta-Rhythmus darstellt, zu diskriminieren und sichtbar zu machen. Auch Einflüsse wie die Aktivität von Gesichtsmuskulatur oder ähnliches können gleichsam herausgefiltert werden. Die zeitliche Auflösung der mit dem EEG erfassbaren elektrischen Aktivität ist anderen Methoden, wie zum Beispiel der fMRT, überlegen (Friston et al., 1998).

1.1.1.2. Ereigniskorrelierte Potentiale

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) werden entweder von Sinneswahrnehmungen evoziert oder sind mit kognitiven Prozessen (z.B. Aufmerksamkeit und Sprachverarbeitung) assoziiert (Rugg et al. 1995). Die Veränderungen der ersten zehn Millisekunden werden als Hirnstammpotentiale bezeichnet und sind auditiv evoziert. Die positiven Gipfel werden sukzessive nach zeitlichem Auftreten, bei I beginnend, mit römischen Ziffern benannt. Die Ausprägung dieser Potentiale ist in erster Linie von der physikalischen Beschaffenheit der Stimuli abhängig: unter anderem Intensität, Modalität und Interstimulus-Intervall sowie der Rezeptionsfähigkeit der Probanden gegenüber der Stimuli (Möller et al., 2005). Die Hörfähigkeit von Säuglingen kann zum Beispiel auf diese Weise eruiert werden (<http://www.neurolabor.de/ereigniskorreliert.pdf>). Die darauf folgenden ereigniskorrelierten Potentiale werden gemäß Polarität – N für negativ und P für positiv – sowie entsprechend ihrer Latenz in Millisekunden benannt (Siehe auch Abbildung 1.1.1.2.1, S. 11). Ein positives Potential, das nach etwa 100 Millisekunden regelhaft registriert wird, wird als P100 bezeichnet. Potentiale wie die P100, N100 oder auch P200 werden unter anderem von Aufmerksamkeitsprozessen beeinflusst. Darauf folgen aufgabenbezogene Potentiale (<http://www.neurolabor.de/ereigniskorreliert.pdf>), die mit psychologischen Konzepten wie beispielsweise Vigilanz, Motivation und Stimulus-Kontext in Zusammenhang gebracht werden können und somit unter anderem von exekutiven Funktionen abhängen (Möller et al., 2005). Die frühen und mittleren Potentiale werden weitgehend den exogenen Potentialen zugeordnet. Die unterschiedliche Ausprägung letzterer hängt allein von unterschiedlichen physikalischen Reizeigenschaften ab. Psychologische Variablen spielen die entscheidende Rolle bei den endogenen Potentialen, welche wiederum keine physikalischen Modalitäten der Stimuli repräsentieren (Donchin et al., 1978). Allerdings hat sich herausgestellt, dass endogene Anteile teilweise schon nach fünfzig Millisekunden auftreten können. Deshalb erscheint eine rigide Anwendung dieser Einteilung nicht als sinnvoll (Hegerl, 1998; Picton and Hillyard, 1988). Mittlere Potentiale (zwischen elf und hundert Millisekunden) werden größtenteils dem Thalamus zugeschrieben, währenddessen späte sowie langsame Potentiale weitgehend mit dem Kortex in Verbindung gebracht werden (Neundörfer 1982, Ebe und Homma, 1994).

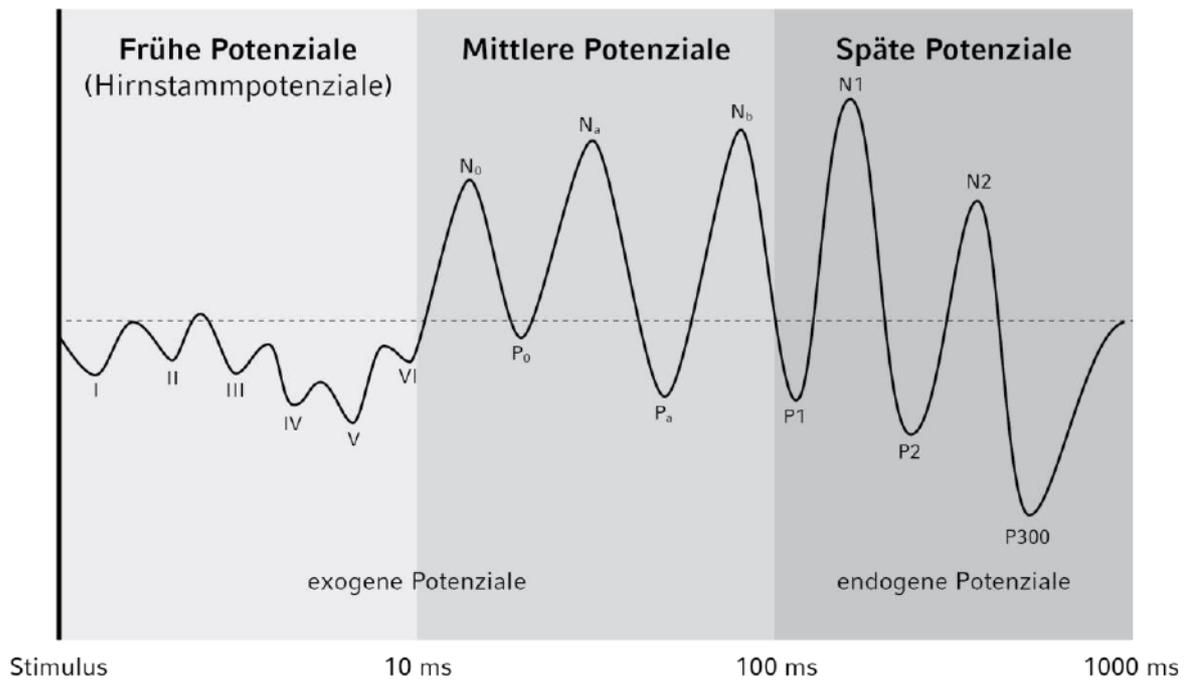


Abbildung 1.1.1.2.1: Schematische Zeichnung ereigniskorrelierter Potenziale mit logarithmischer Zeitachse (Störmann, 2012)

Da der Fokus dieser Arbeit auf der Untersuchung von intentionalem Verhalten liegt, stehen die N200 sowie die P300 in dem Zentrum der Aufmerksamkeit (siehe auch Abbildung 1.1.1.2.2, S.13). Diese beiden Potentiale wurden in der Vergangenheit unter anderem auch in dem Zusammenhang mit inhibitorischen Prozessen untersucht. Das Augenmerk dieser Studie soll verstärkt auf dem volitionalen Aspekt der exekutiven Funktionen liegen. In diesem Zusammenhang ist die bisherige Studienlage zu der funktionellen Bedeutung von N200- und P300-Amplituden uneinheitlich:

- **N200:** Das N200 ist ein negatives Potential, das ungefähr 200 Millisekunden nach dem Stimulus auftritt (siehe Abbildung 1.1.1.2.2). Es wird in Verbindung gebracht mit dem Abgleich neuer Informationen mit bereits bekannten Reizmustern sowie mit der Evaluation des Stimulus (Altenmüller, 2005). Die Konfliktverarbeitung beziehungsweise deren Überwachung wird ebenfalls mit dem N200 assoziiert (Donkers et al., 2004; Bekker et al., 2004). Auch zu Inhibitionsprozessen wurde ein Zusammenhang beschrieben (Kim et al., 2007). Geczy und Kollegen stellten bei der Untersuchung eines Go/NoGo-Paradigmas fest: Je mehr Go-Bedingungen zwischen NoGo-Bedingungen dargeboten werden, desto höher ist die Amplitude des N200-Potentials, das auf die NoGo-Bedingung folgt (Geczy et al., 1999). Darüber hinaus wurde das N200-Potential

mit dem Unterdrücken falscher Antworttendenzen assoziiert (Falkenstein et al., 1999). Zudem wurde sowohl ein Zusammenhang mit der Auswahlreaktion als auch mit der Stimulus-Einordnung bei Aufgaben mit Auswahlbedingungen hergestellt (Gajewski et al., 2008; Ritter et al., 1982; Ritter et al., 1983). Das N200-Potential wird in dem Zusammenhang mit dem Go/NoGo-Paradigma zunehmend im Sinne eines Antwortkonfliktes interpretiert und weniger als Ausdruck von Inhibition (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004, Smith et al., 2010).

- **P300**: Das P300 ist ein positives Potential, das ungefähr 300 Millisekunden (250 bis zu 700 Millisekunden) nach dem Stimulus auftritt (siehe Abbildung 1.1.1.2.2). Es wird mit Fokussierung von Aufmerksamkeit auf einen Reiz in Zusammenhang gebracht (Squires et al., 1975; Squires et al., 1977). Je komplexer die Aufgabenstellung ist, desto länger ist die Latenz. Diese Beobachtung führte Donchin und Kollegen zu der Interpretation, dass diese längeren Latenzen auf Arbeitsgedächtnisaktualisierungen zurück zu führen seien (Donchin und Coles, 1988). In ähnlicher Weise wird beispielsweise auch von Magliero und Kollegen, argumentiert (Magliero et al., 1984). In Arbeiten, wie der von Verleger, 1997, wird diese Sichtweise als zu vereinfacht bewertet.

Das Potential ist – genauso wie das N200-Potential - unabhängig von der Modalität des auslösenden Reizes (Naumann et al., 1992). Dies spricht für den endogenen Ursprung des Potentials (siehe auch Abbildung 1.1.1.2.1). Veröffentlicht wurde über das P300-Potential erstmals im Jahre 1965 (Sutton et al., 1965). In zahlreichen Studien wurde das P300-Potential anhand von Go/NoGo-Paradigmen untersucht. Dabei wurde das Potential in dem Hinblick auf Inhibition von Handlungen in Abgrenzung zu reflexartiger Durchführung von Handlungen analysiert. Es stellte sich heraus, dass sich im Vergleich der beiden Bedingungen bei der Inhibition das P300-Potential am stärksten fronto-zentral und bei der Go-Bedingung eher parietal darstellen ließ. Dieses Phänomen wurde als No-Go-P300-Anteriorsierung bezeichnet (Fallgatter et al., 1999). Das P300-Potential wurde neben den bereits vorgestellten Konzepten unter anderem auch mit folgenden in Verbindung gebracht: Kontextaktualisierung, Informationsverarbeitung sowie Entscheidungsfindung und dem „Löschen“ von zuvor geplanten Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011). Wenn Entscheidungen untersucht wurden, standen zumeist die Entscheidungen zwischen Handlungsalternativen im Vordergrund.

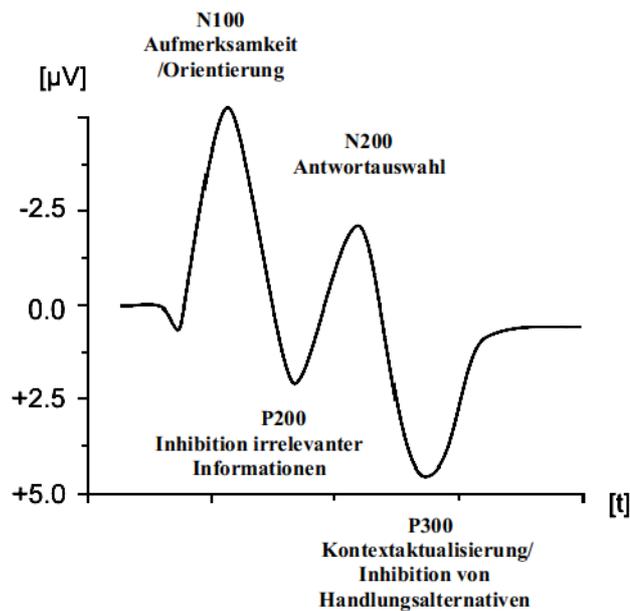


Abbildung 1.1.1.2.2: Ereigniskorrelierte Potentiale (orient. an Birbaumer et al., 2006)

1.1.1.3. Einflussfaktoren auf endogene Potentiale

- Alter:** Die P300 ist eines der häufigsten untersuchten ereigniskorrelierten Potentiale. Daher liegt dazu auch eine Vielzahl an Erkenntnissen zu Einflussfaktoren vor. Insgesamt ist die Studienlage bezüglich des Einflusses von Alter, als inhomogen zu bezeichnen. Allerdings haben sich Tendenzen herausgebildet: Mit steigendem Alter wurden längere Latenzen des P300-Potentials beschrieben (Polich 1996; Juckel et al., 2012). Zudem gibt es Hinweise darauf, dass mit Anwachsen der Lebensjahre eine Amplitudenreduktion einhergeht (Juckel et al., 2012; Friedman et al., 1997; Gilmore, 1995; Iragui et al., 1993). Häufig beschrieben wurde ebenfalls eine Alters-Anteriorisierung der P300. Einige erklären diese mit konstanten frontalen P300-Potentialen, die bei abnehmenden Amplituden im Scheitelbereich relativ vergrößert erscheinen. Andere bringen die relative Zunahme der frontalen Amplitude mit einer reaktiven Aktivitätszunahme im Rahmen einer Kompensation von altersbedingten Defiziten in Zusammenhang (Yamaguchi et al., 1991; Friedman et al., 1994; Kutas et al., 1994; Störmann, 2012).

Bezüglich des N200-Potentials gibt es bei ähnlich inhomogener, aber quantitativ wesentlich kleinerer Studienlage als zu dem P300-Potential, Hinweise auf höhere Latenzen sowie durch Alter bedingte Effekte auf die Amplitudenhöhe (Störmann S.,

2012). Insgesamt bleibt bei inhomogener Studienlage bezüglich des Einflusses des Alters auf die Potentiale N200 und P300 festzuhalten, dass weitgehend Einigkeit darüber herrscht, dass das Alter Einfluss auf Latenz, Amplitudenhöhe sowie Lokalisation der Potentiale hat.

- **Geschlecht:** Die Studienlage zum Einfluss des Geschlechtes auf endogene Potentiale weist auf größere ereigniskorrelierte Potentiale bei Frauen gegenüber Männern hin (Deldin et al., 1994 ; Hegerl et al., 1985 ; Popescu A., 2005). Autoren, die zu ähnlichen Ergebnissen gekommen sind, begründeten diesen Unterschied mit der unterschiedlichen Kopfgröße und Schädeldicke (Picton et al., 1984).
- **Habituation:** Die These, dass Lerneffekte eine Rolle bei ereigniskorrelierten Potentialen spielen, stützt unter anderem die Erkenntnis, dass die Amplitude der P300a kleiner wird je öfter seltene auslösende Stimuli präsentiert werden (Friedman et al., 2001; <http://www.neurolabor.de/ereigniskorreliert.pdf>; Squires et al, 1975).
- **Psychische Erkrankungen:** Wie bereits angerissen wurde, gehen viele psychische Erkrankungen mit Einbußen von Aufmerksamkeit und bei exekutiven Fähigkeiten einher. Diese wirken sich auf die endogenen ereigniskorrelierten Potentiale aus:
 - **Schizophrenie:** P300-Veränderungen bei der Einordnung von affektiven Reizen (Mori K. et al., 2012), sowie bei Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses (Zhao et al., 2011).
 - **Zwangsstörungen:** Eine vergrößerte P-300-Amplitude wurde im Sinne einer Überaktivierung interpretiert (Popescu A., 2005) insbesondere bei der ungewollten Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf Reize. Auch beim Monitoring eigener Aktivitäten wurden erhöhte P300-Potentiale beobachtet (Endrass et al., 2013).
 - **Demenz:** Eine erhöhte Latenz und ein verringertes P300-Potential wurden bei Demenz-Erkrankten beschrieben (Parra et al., 2012). Der Review von Pedroso und Kollegen bestätigt die erhöhte Latenz, sieht allerdings die Notwendigkeit weiterer Forschungsarbeit inklusive einer Vereinheitlichung der Methoden bei der

Untersuchung und der Evaluation der Amplitude des P300-Potentials (Pedroso et al., 2012).

- ADHS: In Zusammenhang mit ADHS-Patienten wurden verringerte P300- sowie N200-Potentiale beschrieben (Meier et al., 2012; Anjana et al., 2010). Bei Kindern mit ADHS wurde unter einjähriger Behandlung sowohl mit Atomoxetine als auch mit Methylphenidat eine Normalisierung der beiden Potentiale beschrieben (Roca et al., 2013).
- Alkoholabhängigkeit: Alkoholabhängige Probanden zeigten bei Go/NoGo – Paradigmen eine verminderte P300-Amplitude bei der NoGo-Bedingung (Kamarajan et al.; 2005; Cohen et al., 1997; Fallgatter et al., 1998). Sowohl P300- als auch N200-Potentiale waren bei einem Ziel-Detektions-Paradigma bei alkoholabhängigen Probanden geringer ausgeprägt. Latenzen der Potentiale wichen von gesunden Probanden ab (Fein et al., 2011).

1.1.1.4. Entscheidungsprozesse und Konfliktlösung

Besonders in den Fokus gerückt, nicht nur der Forschung sondern auch der öffentlichen Wahrnehmung, ist die Willensbildung beziehungsweise die Entscheidungsfindung. Dieser Themenkomplex schlägt die Brücke zu der Diskussion über den „freien Willen“ und damit zu den Sozial- sowie Religionswissenschaften.

Brass und Haggard (2008) argumentierten, dass die teilweise widersprüchlichen Ergebnisse in der neurophysiologischen Literatur zu Lokalisation und Verständnis von Entstehung und Ablauf willentlicher Handlungen auf die Fokussierung der Willensbildung als einheitliches, ganzheitliches Konzept zurück zu führen ist. Sie plädieren dafür, bei der Untersuchung der Willensbildung, diese in unterschiedliche Teilaspekte zu untergliedern. Sie schlagen vor, dass bei der Untersuchung der Willensbildung mindestens unterschieden werden soll, welche Handlungsalternativen zur Auswahl stehen, wann eine Entscheidung und ob eine Entscheidung getroffen wird. Es sollte also bei der Untersuchung von Entscheidungsprozessen zwischen den Aspekten unterschieden werden, für welche Option sich entschieden werden soll, zu welchem Zeitpunkt die Option gewählt werden soll und letztlich, ob überhaupt eine Option ergriffen werden soll oder alle optionalen Handlungen

unterdrückt werden sollen (Brass & Haggard, 2008). Die Ansicht, dass für diese unterschiedlichen Arten von Entscheidungen unterschiedliche Neuronen-Verbände aktiv sind, wird unter anderem durch folgende Arbeiten bestärkt: Jahanshahi M., 1998, Trevena et al., 2002, Lau et al., 2004, Soon et al., 2008 und Fried et al., 2011.

1.1.1.5. Hemmung von Verhaltenstendenzen (Inhibition)

Eine Komponente exekutiver Funktionen ist die Inhibition. Fallgatter und Kollegen (1999) beschrieben ein P300-Potential, welches bei der NoGo-Bedingung (Inhibition) ausgeprägter imponierte als bei der Go-Bedingung (Fallgatter et al., 1999).

Bokura und Kollegen (2001) identifizierten mit einem Go-/NoGo-Paradigma in einer EEG-Untersuchung Aktivierungen von orbito-frontalen Arealen sowie in dem anterioren Cingulum und brachten sie in Verbindung mit Inhibition (Bokura et al., 2001).

Insgesamt wurde bei der NoGo-Bedingung eine eher fronto-zentrale Lokalisation der N200- und P300-Potentiale festgestellt in Abgrenzung zu der Go-Bedingung, bei der die Potentiale ausgeprägter in parietalen Hirnbereichen detektiert wurden (Yong-Liang et al., 2000; Bekker et al., 2004; Lavric et al., 2004; Salisbury et al., 2004, Kamarajan et al., 2005a; Kamarajan et al., 2005b; Smith et al., 2006). Insbesondere für das P300-Potential wurden bei der Inhibition im Vergleich zur Go-Bedingung maximale Potentiale fronto-zentral und weniger parietal detektiert, was auch als NoGo-Anteriorisierung bezeichnet wird (Fallgatter und Strik, 1999, Burle et al., 2004). Das fronto-zentrale P300-Potential wird in diesem Zusammenhang also am ehesten als Ausdruck der Inhibition beziehungsweise dem Löschen von zuvor geplanten Handlungsalternativen interpretiert (Randall and Smith 2011).

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen wie Nachev und Kollegen kommen Smith und Kollegen im Hinblick auf Potentialunterschiede zwischen motorischer Inhibition und kognitiver Inhibition: Sie folgerten aus der überwiegenden Deaktivierung motorischer Areale während des NoGo – P300-Potentials, dass dies ein Ausdruck der Inhibition von motorischen Reaktionen sei, wohingegen das NoGo–N200–Potential mit der Inhibition von nicht motorischen Reaktionen in Verbindung gebracht wurde (Nachev et al., 2005; Smith et al., 2010).

Auch Raichle und Kollegen interpretierten 2001 das verminderte Aktivierungsmuster bei dem

NoGo-P300-Potential in motorischen, prämotorischen, occipitalen, parietalen sowie temporalen Loci in Abgrenzung zu einem Ruhenetzwerk bei motorischen Aufgaben in ähnlicher Weise wie Smith und Kollegen in dem Jahr 2008 (Raichle et al., 2001).

Geczy und Kollegen stellten fest, dass die N200-Amplitude zunimmt, je mehr Go-Bedingungen zwischen NoGo-Bedingungen dargeboten werden (Geczy et al., 1999). Dies kann im Sinne einer Habituationsreaktion interpretiert werden.

Die Vergrößerung der N200-Amplitude bei Veränderung des Go-Bedingungs-NoGo-Verhältnisses korrelierte bei Nieuwenhuis und Kollegen 2003 mit Aktivierungen in dem anterioren cingulären Kortex mit der Seltenheit der Präsentation der jeweiligen Bedingung unabhängig von der Bedingung (Go beziehungsweise NoGo). Das N200-Potential war bei Donkers und van Boxtel 2004 sowohl für die Go-Bedingung als auch für die NoGo-Bedingung größer, je höher die Frequenz an Go-Bedingungen war. Auch Smith und Kollegen fanden 2010 höhere N200-Potentiale je seltener und damit unerwarteter die NoGo-Stimuli für die Probanden waren (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004, Smith et al., 2010).

Zusammenfassend sind die elektrophysiologischen Repräsentanzen der Inhibition in Abgrenzung zu Go-Bedingungen eher fronto-zentral in dem orbito-frontalen Cortex, dem anterioren cingulären Cortex beziehungsweise dem prämotorischen Cortex abzuleiten. Das fronto-zentrale P300-Potential wird in diesem Zusammenhang am ehesten als Ausdruck der Inhibition interpretiert. Für die Go-Bedingung typische elektrophysiologische Korrelate sind eher parietal zu detektieren. Auch die Modalität der zu inhibierenden Aktion, wie zum Beispiel das Unterdrücken motorischer und kognitiver Aktionen, hat Einfluss auf die Lokalisation des Potentialmaximums. Zudem gibt es Hinweise dafür, dass Lerneffekte Einfluss auf die Ausprägung der Potentiale haben.

1.1.1.6. Volition

Definition Volition:

Volition bezeichnet in der Psychologie den Prozess der Bildung, Aufrechterhaltung und Realisierung von Absichten. Dabei steht die Frage in dem Vordergrund, wie die Umsetzung von Zielen oder Motiven (durch Handlungen) in Resultate erfolgt. Es geht also um die

Überwindung von Handlungsbarrieren durch den Willen (Willenskraft) (Brockhaus Lexikonredaktion, 2009).

Karch und Kollegen beschrieben, dass bei der freiwilligen Inhibition (Volition ohne Reaktion) die selben Areale ausgeprägter aktiviert sind, die in der Literatur mit NoGo–Aufgaben assoziiert wurden, allerdings zeigte sich dass die Konfliktsituation, in der sich der Proband bei der freien Entscheidung im Vergleich zur instruierten Inhibition von Verhaltenstendenzen befindet, deutlich stärkere Aktivierungen in denselben Hirnregionen auslöst (Karch et al., 2010a).

In einer fMRT-Studie kam es sowohl bei intendierter Ausführung als auch bei intendierter Unterlassung der Ausführung derselben Handlung zu nahezu identischen Reaktionen im rostralen Cingulum und dorsolateralen präfrontalen Kortex (Kühn et al. 2009).

Nachev und Kollegen beschrieben 2005 auf der Basis von Ergebnissen einer Plan-Änderungsaufgabe des okulo-motorischen Systems im Rahmen einer fMRT-Studie wie folgt: Zwei unterschiedliche, 22 mm voneinander entfernte, Aktivierungs-Loci innerhalb des prä-supplementär-motorischen Kortex (prä-SMA) wurden detektiert. Bei Konfliktlösungsparadigmen wurden in dem Vergleich zu Entscheidungsparadigmen Aktivierungen 22 Millimeter rostraler gemessen. Dies deutet darauf hin, dass der prä-SMA eine wichtige Rolle bei Entscheidungsprozessen und bei der Lösung von Konfliktsituationen spielt. Zudem wird darauf hingewiesen, dass die anatomische Distanz von 22 Millimetern der beiden Loci, die Möglichkeit der Missinterpretation von Aktivierungen im Sinne von Confoundern beinhaltet (Nachev et al., 2005). Darüber hinaus diskutieren Nachev und Kollegen, dass Konflikt, der nur auf der Auswahl zwischen motorischen Optionen beruht, abweichende Aktivierungsmuster aufweisen könnte gegenüber Konflikt, der ausschließlich aus der Auswahl zwischen kognitiven Optionen besteht.

Karch und Kollegen brachten das N200-Potential in fronto-medialen Hirnregionen mit Konflikt-Monitoring, Kontrolle willentlicher Handlungen sowie Entscheidungsprozessen in Verbindung. Zudem werden Hinweise für eine Top-down-Regulation von fronto-medialen zu temporo-parietalen Hirnregionen thematisiert. Diese Top-down-Regulation wird auch von Gajewski und Kollegen 2008 beschrieben. Die fronto-zentrale N200-Amplitude wird dort mit dem anterioren cingulären Kortex assoziiert und nicht nur in Verbindung gebracht mit Unerwartetem und Konflikt sondern auch mit einer frühen Stufe in dem Prozess der Reaktionsauswahl, welche Einfluss auf die folgenden Prozessstufen habe. Letztere würden

von dem P300-Potential abgebildet. Das N200-Potential wurde folgerichtig im Sinne eines Antwortkonfliktes interpretiert und weniger als Ausdruck von Inhibition (Gajewski et al., 2008; Karch et al., 2010a).

In einem adaptierten visuellen Go/NoGo-Paradigma mit Entscheidungskomponente waren die P300-Amplituden zentral und parietal am größten (Kopp et al., 2007).

Eine Meta-Analyse von Krain et al. 2006 von fMRT-Daten bezüglich der Differenzierung zwischen riskanten, einfachen Entscheidungen und komplizierten, vielfältigen Entscheidungen deutet ebenfalls auf einen positiven Zusammenhang zwischen dem Grad des Entscheidungskonfliktes und der „Rostralität“ in dem anterioren cingulären Kortex (ACC) der Aktivierungen hin. Je riskanter und damit emotional aufgeladener die Entscheidung sei, desto rostraler die Aktivierung in dem ACC. Zudem wären emotional bedeutsame Entscheidungen mit höheren BOLD-Reaktionen in dem orbito-frontalen und parietalen Kortex und weniger emotional aufgeladene Entscheidungen mit vermehrten Signalen in dem dorsolateralen-präfrontalen Cortex (DLPFC) assoziiert. Dies mache die Unterscheidung zwischen Neuronen-Verbänden notwendig, die für affektiv aufgeladene Entscheidungen zuständig seien und denen, für weniger emotionale Entscheidungen (Krain et al. 2006). Zhang und Kollegen beschrieben, dass Entscheidungen durch Akkumulierung von neuronalen Reaktionen bis zum Überschreiten eines Grenzwertes zustande kommen. Sie detektierten in einer fMRT-Untersuchung, in dem Zusammenhang mit Entscheidungen, erhöhte Reaktionen in dem supplementär motorischen Kortex und dem kaudalen anterioren cingulären Kortex. Darüber hinaus schlussfolgern sie, dass nach Überschreitung des Grenzwertes und der damit verbundenen Entscheidung eine erneute Entscheidung inhibiert wird, sodass für die wiederholte Ausführung derselben Entscheidung insgesamt stärkere neuronale Reaktionen notwendig sind. Sie interpretieren, dass menschliche willentliche Handlungen durch sich ergänzende Prozesse intentionaler Auswahl und Inhibition zustande kommen (Zhang et al 2012).

Fried et al., 2011 haben die Aktivität auf der Ebene einzelner Neurone bei selbst induzierten Fingerbewegungen gemessen. Im Fokus stand bei der die Entscheidung, wann diese durch die Probanden ausgeführt werden sollten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es 700ms bevor die Entscheidung dem Probanden bewusst wird und 1500ms bevor der Proband von der Entscheidung berichtet zu Aktivierungen in dem supplementär-motorischen Kortex (SMA) kommt (Fried et al., 2011). Darüber hinaus fanden Fried und Kollegen 2011 Hinweise dafür, dass wenn zusätzlich zu der Entscheidung, wann eine Aktion ausgeführt werden soll, noch die

Entscheidung hinzu kommt, mit welcher Hand die Aktion ausgeführt werden soll, die Aktivierungen auf der kontralateralen Hemisphäre zu der Hand, für die sich der Proband entschieden hatte, ausgeprägter sind. Allerdings hatten nur drei Probanden an diesem Experiment teilgenommen (Fried et al., 2011).

Gluth und Kollegen untersuchten 2012 Aktivierungsmuster im fMRT in dem Hinblick auf 2 Komponenten von Entscheidungen: Auf Werten basierende, rationale Entscheidungen und der Entscheidung wann diese Entscheidungen fallen. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass diese Entscheidungen auf der Grundlage von sequentieller Prüfung verschiedenster Handlungsvarianten zu Stande kommen, bei der es zu einer Zunahme der BOLD-Reaktion in dem prä-supplementär-motorischen Kortex, in dem Nucleus Caudatus sowie der anterioren Insula käme. Die kontinuierliche Reevaluation der Informationen, die zu Entscheidungen führten, seien mit erhöhten BOLD-Reaktionen in dem ventro-medialen präfrontalen Kortex und dem rechten sowie linken orbito-frontalen Kortex assoziiert (Gluth et al., 2012).

Zhang und Hirsch, untersuchten dynamische Entscheidungsprozesse, die zum Beispiel permanent beim Autofahren ablaufen müssen, im Vergleich zu Entscheidungen, die auf Abwägung des eigenen Nutzens ohne Zeitkomponente ablaufen. Dynamische Entscheidungen waren mit ausgeprägteren BOLD-Reaktionen in dem anterioren und posterioren Cingulum, dem superioren parietalen Lobulus und dem ventralen Pallidum assoziiert, während die auf Abwägung ohne Zeitkomponente beruhende Entscheidung mit dem SMA, den prä- sowie postzentralen Gyrii, dem Cerebellum und dem Thalamus assoziiert waren (Zhang und Hirsch, 2013).

Filevich und Kollegen stellen in Frage, ob der subjektiv empfundene freie Wille auch objektiv dem freien Willen entspricht und ob die bisherigen Paradigmen, um Volition zu untersuchen, durch die Vorgabe einzelner Komponenten so eingeschränkt sei, dass objektiv damit nicht der „freie Wille“ untersucht werden könne. Sie kommen zu dem Schluss, dass „freier Wille“ nicht zu denselben neurophysiologischen Reaktionen führe, die zuvor mit der Auswahl von alternativen Aktionen in Verbindung gebracht worden seien (Filevich et al., 2013).

Insgesamt bleibt also festzuhalten, dass die bisherige neurophysiologische Studienlage zu Volition vorwiegend auf bildgebende Studien, wie fMRT-Untersuchungen, beruht. Vermehrte Reaktionen wurden gehäuft in den Zusammenhang gebracht mit dem prä-SMA, dem SMA, dem orbito-frontalen Kortex, dem rostralen Cingulum, dem dorsolateralen präfrontalen Kortex und dem anterioren cingulären Kortex sowie subkortikal mit Thalamus und

Basalganglien (Jahanshahi M.,1998). Nicht nur für die Unterscheidung zwischen Konflikt und Entscheidung wurden abweichende Reaktionen in den einzelnen Hirnregionen detektiert sondern auch für die Art der Entscheidungen, die jeweiligen Entscheidungskomponenten sowie Entscheidungsausrichtungen. Das N200-Potential wird in der Literatur in dem Zusammenhang mit dem Go/NoGo-Paradigma zunehmend im Sinne eines Korrelates eines Antwortkonfliktes angesehen. Fasst man die aktuelle Studienlage zusammen, dann deutet es darauf hin, dass sich zumindest zunächst nicht ein einheitliches, ganzheitliches Volitions-Konzept durchsetzt sondern der Fokus auf die einzelnen Komponenten von Entscheidungsprozessen gelegt wird. Diese Teilaspekte könnten nach und nach in der Zusammenschau zu einem multifaktoriellen Volitions-Konzept integriert werden.

1.1.1.7. Intentionales Verhalten - Zusammenfassung

Es wird also insgesamt deutlich, dass das ganzheitliche vereinheitlichte Konzept des intentionalen Verhaltens in der neurophysiologischen Forschung nicht existiert. Entscheidungsprozesse sind vielfältig und komplex und basieren offenbar auf mehreren Teilkomponenten, die teilweise sequentiell, teilweise auch gleichzeitig ablaufen. Natürlich interagieren die einzelnen Teilkomponenten auch miteinander und sind nicht ausschließlich isoliert voneinander zu betrachten. Die Ansicht, dass für diese unterschiedlichen Arten von Entscheidungen unterschiedliche Neuronen-Verbände aktiv sind, wird unter anderem durch folgende Arbeiten bestärkt: Trevena et al., 2002, Lau et al., 2004, Soon et al., 2008 und Fried et al., 2011, Kriehoff et al., 2009. Brass und Haggard plädieren dafür, bei der Untersuchung der Willensbildung, diese in unterschiedliche Teilaspekte zu untergliedern. Bei der neurophysiologischen Untersuchung der Willensbildung soll laut ihnen mindestens unterschieden werden, welche Handlungsalternativen zur Auswahl stehen sowie wann und ob eine Entscheidung getroffen wird (Brass & Haggard, 2008). Die Entscheidung, ob eine Aktion ausgeführt werden soll, sei assoziiert mit dem dorsalen fronto-medianen Kortex (Brass & Haggard, 2007), die Auswahl-Entscheidung mit dem rostralen Cingulum (Kriehoff et al., 2009), dem dorsalen prä-motorischen Kortex sowie prä-supplementär motorischen Kortex (Hoffstaetter et al., 2013) und die Entscheidung, wann eine Aktion ausgeführt werden soll, mit dem superioren prä-supplementär-motorischen Kortex, der Insula, dem Brodmann-Areal 44, dem anterioren Putamen, dem Globus pallidus, dem linken Cerebellum (Hoffstaetter et al.,

2013) sowie dem superioren frontalen Gyrus in dem paramedianen frontalen Cortex (Kriehoff et al., 2009). Auch Inhibition und Konflikt spielten als Komponenten eine wichtige Rolle bei intentionalem Verhalten (Zhang et al. 2012). Antwortkonflikt und Volition würden sich gegenseitig bedingen, da Entscheidungen ohne konkurrierende Ideen nicht möglich seien und somit käme es Überschneidungen zwischen den Konzepten Volition und Konflikt (Kriehoff et al., 2011). Das fronto-zentrale P300-Potential wird in Verbindung mit dem mit dem Go/NoGo-Paradigma am ehesten als Ausdruck der Inhibition interpretiert. Das N200-Potential wird in der Literatur in dem Zusammenhang mit dem Go/NoGo-Paradigma zunehmend im Sinne eines Korrelates eines Antwortkonfliktes interpretiert (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004, Gajewski et al., 2008; Smith et al., 2010, Karch et al., 2010a). Auch wie riskant und damit emotional besetzt Entscheidungen seien, habe Einfluss auf neurophysiologische Korrelate (Krain et al. 2006). Zudem habe auch die Frage, ob Entscheidungen dynamisch unter Berücksichtigung einer Zeitkomponente zustande kommen oder ob sie auf Abwägung ohne Zeitkomponente beruhten, Einfluss auf die neurophysiologischen Korrelate (Zhang und Hirsch, 2013). Wenn Entscheidungen anhand von ereigniskorrelierten Potentialen untersucht wurden, standen zumeist die Entscheidungen zwischen Handlungsalternativen im Vordergrund. Insbesondere im Hinblick auf das P300-Potential, aber auch das N200-Potential, ergaben sich in drei Studien von Karch und Kollegen keine signifikanten Unterschiede zwischen der aktiven Entscheidung, eine Aktion durchzuführen oder diese Durchführung bewusst zu unterlassen (Karch et al., 2009; Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b). Bekannte Einflussfaktoren auf EKP sind: Alter (Polich 1996; Juckel et al., 2012; Friedman et al., 1993), Geschlecht (Hegerl et al., 1985; Popescu A., 2005), Gewöhnung (Friedman et al., 2001, Squires et al, 1975) sowie psychiatrische Erkrankungen wie beispielsweise Schizophrenie (Mori K. et al., 2012; Zhao et al., 2011), Zwangserkrankungen (Popescu A., 2005; Endrass et al., 2013), Demenz (Parra et al., 2012; Pedroso et al., 2012), ADHS (Meier et al., 2012; Roca et al., 2013) und Alkoholabhängigkeit (Kamarajan et al.; 2005; Fein et al., 2011). Gerade der Einfluss psychischer Erkrankungen auf exekutive Funktionen, wie intentionales Verhalten und deren evozierte Potentiale, macht die Etablierung eines standardisierten Paradigmas an gesunden Probanden sinnvoll, welches die Darstellung der Norm entsprechender elektrophysiologischer Korrelate von intentionalem Verhalten ermöglicht. Dies könnte Grundlage dafür sein, krankhafte Abweichungen von der Norm neurophysiologisch mit einer ökonomisch günstigen Methode objektivieren und im Verlauf beurteilen zu können.

1.2. Ziele der Arbeit

Ziele dieser Arbeit sind weitere Aspekte des Gesamtbildes von intentionalem Verhalten beizusteuern und ein Paradigma zu etablieren, anhand dessen Einschränkungen der exekutiven Funktion Volition neurophysiologisch objektiviert und im Verlauf beurteilt werden können. Dazu erfolgt die Untersuchung ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) von Verhaltensinhibition und Entscheidungsprozessen, die Überprüfung des Einflusses der Entscheidungsart sowie der Entscheidungsausrichtung auf diese neurophysiologischen Reaktionen sowie die Bestimmung deren Retest-Reliabilität.

1.2.1. Fragestellungen

1. Welche elektrophysiologischen Korrelate sind mit der Entscheidung zwischen zwei Wahlmöglichkeiten assoziiert?
2. Hat die wiederholte Präsentation derselben Aufgabe Einfluss auf die ereigniskorrelierten Potentiale? Wie hoch ist die Reliabilität der ereigniskorrelierten Potentiale? Gibt es Lern- beziehungsweise Gewöhnungseffekte, die gegebenenfalls berücksichtigt werden müssen?
3. Wie unterscheiden sich elektrophysiologische Korrelate, die mit Entscheidungen zwischen zwei Wahlmöglichkeiten assoziiert sind in dem Vergleich zu ereigniskorrelierten Potentialen, die mit der Inhibition von Reaktionen, instruierten Reaktionen und einer Kontroll-Bedingung einhergehen?
4. Hat die Art der Entscheidung Einfluss auf die Ausprägung der elektrophysiologischen Korrelate? Unterscheiden sich im Speziellen die elektrophysiologischen Korrelate zwischen der Wahl zwischen zwei Reaktionsmöglichkeiten (Re-li-Bedingung) und der Entscheidung, ob reagiert werden soll oder nicht (Ja-nein-Bedingung)?

5. Hat es einen Einfluss auf die Ausprägung der elektrophysiologischen Korrelate für welche der zwei Alternativen (Volition: rechts/links) sich entschieden wird?

1.2.2. Hypothesen

1. Entscheidungen zwischen zwei Alternativen sind mit fronto-zentral betonter Ausprägung elektrophysiologische Korrelate (N200 beziehungsweise P300) assoziiert (z.B.: Karch et al., 2009; Näätänen et al., 1986 & 1990; Bekker et al., 2004; Squires et al., 1975 & 1977; Donchin & Coles, 1988; Pritchard et al., 1991).
2. Es besteht Retest-Reliabilität der elektrophysiologischen Parameter, N200 und P300. (Fallgatter et al., 2001; Williams et al., 2005; Simons et al., 2011)
3. a,
Die Ausprägung des P300-Potentials ist für die Inhibitionsbedingung am größten. Insgesamt sind die Maxima der P300-Amplitude an den Cz- und Pz-Elektroden zu erwarten. Die Ausprägung des P300-Potentials der Go-Bedingung und der Volitions-Bedingung sind größer als das der Kontroll-Bedingungen (Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b).
3. b,
Die Ausprägung des N200-Potentials ist in Relation zur Kontroll-Bedingung bei der Inhibitions-Bedingung und der Entscheidungs-Bedingung frontal und fronto-zentral signifikant größer. Frontal ist die Ausprägung des N200-Potentials bei der Entscheidungs-Bedingung am größten (Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b).
4. Die ereigniskorrelierten Potentiale der Entscheidungen zwischen zwei Handlungsalternativen („Re-li“) und ob motorisch reagiert wird oder nicht („Ja-nein“) unterscheiden sich signifikant. - Motorisch versus kognitive Entscheidungen (Nachev et al., 2005).

5. Es zeigen sich signifikante Unterschiede der elektrophysiologischen Korrelate zwischen den beiden Entscheidungsmöglichkeiten bei der Entscheidung welche motorische Entscheidung ausgeführt werden soll (Fried et al., 2011).

2. Material und Methoden

2.1. Versuchspersonen

Für die Studie wurden männliche Probanden zwischen 20 und 35 Jahren ohne neurologische und/oder psychische Erkrankungen durch Aushang rekrutiert. Die Probanden nahmen an einer EEG-Untersuchung teil. Zudem sind sowohl demografische als auch psychometrische Daten der Probanden erfasst worden. Für die Durchführung der Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München vor. Die ethischen Grundsätze der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes wurden berücksichtigt (World Medical Association, 2000).

2.2. Versuchsanordnung

In der Studie wurden zwei ähnlich aufgebaute Experimente verwendet. Beide basieren auf einem modifizierten Go/NoGo-Paradigma, das fünf unterschiedliche Bedingungen beinhaltet. Den Probanden werden als auditorische Stimuli im Abstand von tausend Millisekunden jeweils zwei Sinustöne präsentiert (siehe auch Abbildung 2.2.0, S. 26). Dabei kommen drei unterschiedliche Sinustöne mit den Frequenzen 800 Herz, 1000 Herz und 1300 Herz mit einer Dauer von fünfzig Millisekunden und einem Schalldruckpegel von achtzig dB zum Einsatz. Für beide Experimente gilt:

Die Probanden sind dazu aufgefordert, die Augen während des Versuches offen zu halten. Die Reihenfolge der verschiedenen Bedingungen ist pseudo-randomisiert. Das Intervall zwischen jeweils zwei Stimulus-Paaren beträgt drei Sekunden. Wenn nach dem mittleren Ton (1000 Hz) der höhere Ton (1300Hz) dargeboten wird, soll der Proband so schnell wie möglich eine Taste mit der rechten Hand betätigen (Go-Bedingung). Die Probanden wurden angewiesen, nach der Präsentation des zweiten Stimulus des jeweiligen Stimulus-Paares, möglichst schnell und fehlerfrei zu reagieren. Folgt auf den 1000-Hz-Ton der tiefe 800-Hz-Ton darf der Proband nicht reagieren (NoGo-Bedingung). Wird der mittlere Ton (1000Hz) zweimal in dem Abstand von tausend Millisekunden

wiederholt, soll der Proband selbst entscheiden (Volitions-Bedingung). Ertönt der tiefe Ton (800 Hz) als erster Ton des Stimulus-Paares tritt eine der beiden Kontrollbedingung ein: Der Proband ist dazu angehalten nicht zu reagieren. Die beiden Versuchsanordnungen unterscheiden sich in den bei der Volitions-Bedingung zur Auswahl stehenden Optionen.

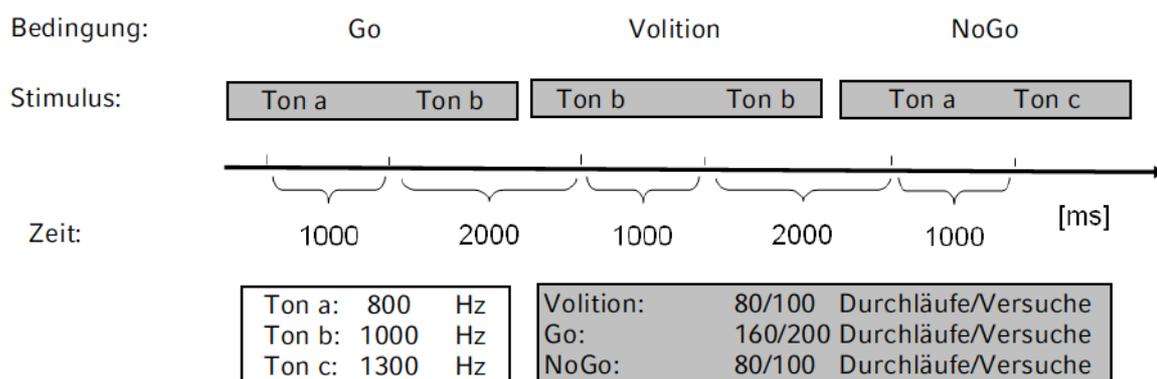


Abbildung 2.2.0: Schema der Versuchsanordnung

2.2.1. Experiment 1: „Ja-nein-Paradigma“

In diesem Experiment ist der Proband bei der Volitions-Bedingung dazu angehalten, sich zwischen den Alternativen zu entscheiden, mit der rechten Hand eine Taste zu betätigen oder nicht zu reagieren. Diese Entscheidung soll jedes Mal aufs Neue spontan gefällt werden. Allerdings sollen beide Alternativen möglichst gleich häufig gewählt werden. Um die Reliabilität zu prüfen wurde das Experiment zweimal an dem gleichen Tag durchgeführt: Einmal für etwa dreißig Minuten in dem Zeitraum zwischen acht Uhr und zwölf Uhr und ein weiteres Mal in dem Zeitraum zwischen fünfzehn Uhr und neunzehn Uhr. Ein Durchgang beinhaltet hundertsechzig „Go“-Aufgaben. Die anderen Bedingungen werden jeweils achtzig Mal dargeboten.

Bedingung	Tonfolge	Geforderte Reaktion	Anzahl
Go	mittel - hoch	Tastendruck (re.)	160
NoGo	mittel - tief	Inhibition	80
Volition	mittel - mittel	optional Tastendruck (re.)	80
Kontrolle 1	tief - tief	keine Reaktion	80
Kontrolle 2	tief - hoch	keine Reaktion	80

Tabelle 2.2.1.1: Experimentelle Bedingung eines Durchlaufes des „Ja-Nein-Paradigmas“

2.2.2. Experiment 2: „Re-li-Paradigma“

In diesem Experiment ist der Proband bei der „Volitions“-Bedingung dazu angehalten, sich zwischen den Alternativen zu entscheiden, mit der rechten Hand oder mit der linken Hand eine Taste zu betätigen. Diese Entscheidung soll jedes Mal aufs Neue spontan gefällt werden. Auch hier sollen beide Alternativen möglichst gleich häufig gewählt werden.

Auch dieses Experiment wird genauso zweimal an dem gleichen Tag durchgeführt. Ein Durchgang beinhaltet zweihundert „Go“-Bedingungen. Die anderen Bedingungen werden jeweils hundert Mal dargeboten.

Bedingung	Tonfolge	Geforderte Reaktion	Anzahl
Go	mittel - hoch	Tastendruck (re.)	200
NoGo	mittel - tief	Inhibition/keine Reaktion	100
Entscheidung	mittel - mittel	Tastendruck optional (re. od. li.)	100
Kontrolle 1	tief - tief	keine Reaktion	100
Kontrolle 2	tief - hoch	keine Reaktion	100

Tabelle 2.2.2.1: Experimentelle Bedingung eines Durchlaufes „Re-li-Paradigmas“

2.3. Datenerhebung

2.3.1. Erzeugung akustischer Stimuli

Über Kopfhörer der Marke Telephonics, Modell TDH-39P (Firma Telephonics, Farmingdale, New York, U.S.A.) wurden den Probanden akustische Stimuli präsentiert. Diese wurden von dem Programm BrainStim (Brain Products GmbH, München) erzeugt.

2.3.2. Aufzeichnung der behavioralen Daten

Die manuellen Reaktionen wurden von einfachen Tastern registriert und über eine Schnittstelle an die Aufzeichnungssoftware des Computers weitergeleitet und gespeichert.

2.3.3. Aufzeichnung der EEG-Daten

Die EEG-Daten wurden in der Abteilung für Klinische Neurophysiologie der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Ludwig-Maximilians-Universität München aufgezeichnet. Die Probanden saßen für die Dauer eines Durchgangs in einem komfortablen Sessel. Der Sessel befand sich in einem elektromagnetisch abgeschirmten Raum. Die Probanden waren angehalten, sich möglichst nicht zu bewegen. Dabei sollten, so gut wie möglich, die Gesichtsmuskulatur entspannt sowie die Augen offen und ruhig gehalten werden. Um Augenbewegungen zu reduzieren, sollten die Probanden ein Fixationskreuz anschauen. Für die Ableitung des EEGs wurden Elektrodenhauben (Electro-Cap Electrode System, Firma Electro-Cap International, Inc. (ECI), Eaton, Ohio, U.S.A.) verwendet, die in drei unterschiedlichen Größen zur Verfügung standen. Diese Hauben folgen mit zweiunddreißig Zinn-Zinnchlorid-Elektroden (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, T3, T4, T5, T6, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, O2 und Erdungselektrode; Zusatzelektroden: Fc1, Fc2, Fc5, Fc6, T1, T2, Cp5, Cp6, P9 und P10; Mastoidelektroden A1 und A2) dem um die zehn Zusatzelektroden erweiterten internationalen 10/20-System und damit den Vorgaben der „American Electroencephalographic Society“. Die Elektroden sind standardisiert angeordnet (siehe Abbildung 2.3.3.1, S. 29). Für die Ableitung eines Elektroofokulogrammes (EOG) wurde eine weitere Elektrode ein Zentimeter lateral des rechten Auges angebracht. Das Elektrodengel, „Electro-Gel™“, der Firma Electro-Cap International Inc. (ECI) aus Eaton, Ohio, U.S.A., ermöglichte die Herstellung des elektrischen Kontaktes zwischen Kopfhaut und Elektrode. Vor Beginn der Aufzeichnung wurde durch Impedanz-Messungen sichergestellt, dass der Hautwiderstand an den einzelnen Elektroden weniger als 10 k Ω betrug. Die Hirnströme wurden mit einer Abtastrate von 1000 Herz ohne Filter durch ein konventionelles 32-Kanal-EEG-Gerät abgeleitet.

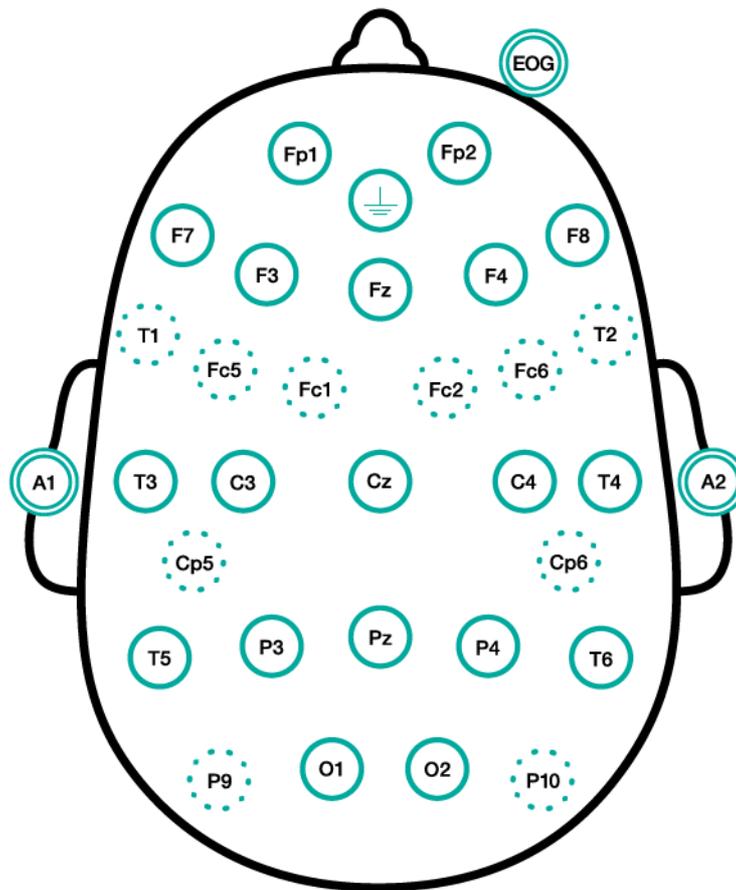


Abbildung 2.3.3.1: Schematische Zeichnung zur Aufzeichnung verwendeter Elektroden: einfach voll umrandete Elektroden: Standardelektroden des internationalen 10/20-Systems der American Electroencephalographic Society, 1991; gepunktet umrandet: Zusatzelektroden; doppelt umrandet: EOG- sowie Mastoidelektroden

2.3.4. Auswertung der EEG-Daten

Die EEG-Daten wurden mit der Software BrainVision Analyzer in der Version 1.05 (Firma Brain Products GmbH, München) ausgewertet. Die Cz-Elektrode fungierte als Referenzelektrode für die anderen Elektroden. Gefiltert wurden die Daten mit einem 70Hz-Tiefpassfilter und einem 0,5-Hz-Hochpassfilter. Die dazugehörige Zeitkonstante

betrug 0,3 Sekunden (Butterworth, 1974). Die Segmentierung der EEG-Aufzeichnungen orientierte sich an den in der Versuchsanordnung näher definierten Bedingungen. Die Segmente reichten von zweihundert Millisekunden vor Erklängen eines Stimulus-Paares bis zu zweitausend Millisekunden nach dem zweiten Ton. Segmente mit Spannungsabweichungen von über $\pm 70\mu\text{V}$ wurden mit Hilfe der Artefakt-Korrektur aussortiert, da höhere Potentialschwankungen auf Artefakte hinweisen. Potentialschwankungen innerhalb eines Segmentes wurden durch Baseline-Korrektur in Relation zu einem „Nullpunkt“ gesetzt (siehe auch Abbildung 2.3.4.1, S.31). Dieser liegt jeweils zweihundert Millisekunden vor jedem Stimulus-Paar und somit am Anfang der Segmente. Das relative Minimum in der Zeitspanne 170 bis 230 Millisekunden nach jedem Stimulus-Paar wurde als N200-Amplitude definiert. Das relative Maximum in dem Zeitfenster 230 bis 550 Millisekunden nach einem Stimulus-Paar wurde als P300-Amplitude definiert.

Um eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses zu erreichen, wurden die Segmente jeweils entsprechend der verschiedenen Bedingungen gemittelt (Hegerl, 1998). Umso kleiner das im Fokus stehende Potential ist, desto mehr Segmente sind notwendig, um dieses bei gleich bleibenden Störfaktoren darstellen zu können.

Für das Re-li-Experiment wurden fünfundzwanzig Prozent mehr Segmente erfasst. Somit konnte nicht nur zwischen Volition und den anderen Bedingungen sondern auch zwischen Volition rechts und links stratifiziert werden. Die Latenzen und die Amplituden der evozierten Potentiale N200 und P300 wurden mit Hilfe von Software innerhalb von Intervallen von 200 Millisekunden vor dem Stimulus und 2000 Millisekunden nach dem Stimulus detektiert:

Kontinuierliches EEG – Rohdaten

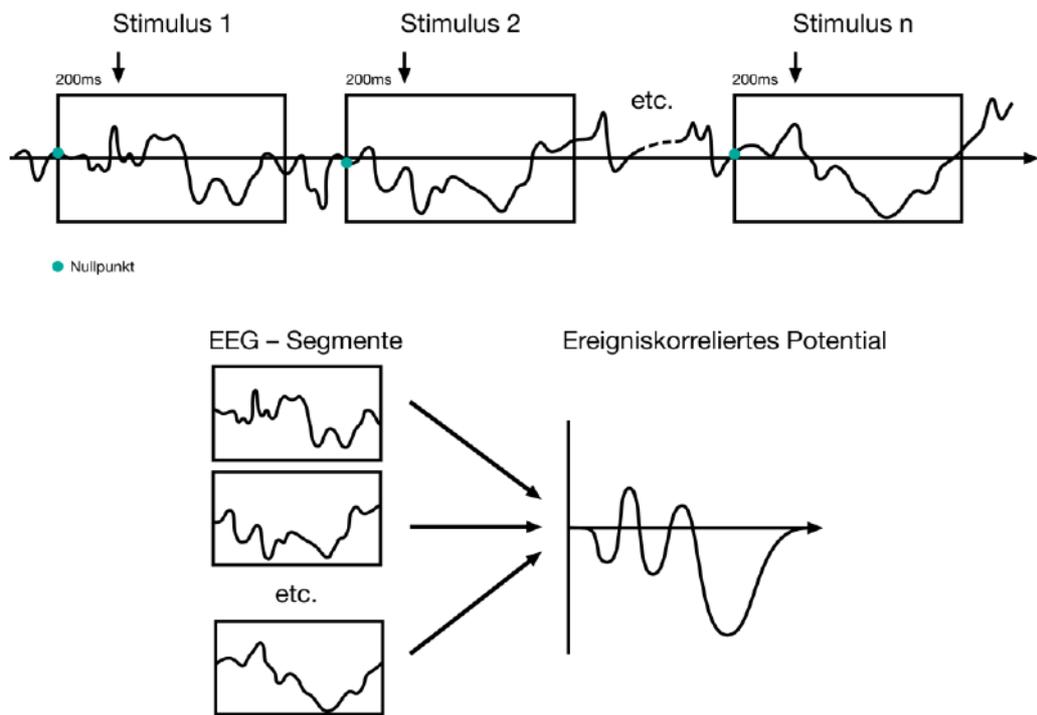


Abbildung 2.3.4.1: Kontinuierliches EEG – Rohdaten (orientiert an Hegerl, 1998)

In dem Anschluss daran wurden Mittelwerte der evozierten Potentiale über die Probanden berechnet. Mittelwerte sind die durchschnittliche elektrokortikale Reaktion einer definierten Gruppe auf ein bestimmtes Ereignis (Hegerl, 1998).

2.4. Statistik

Die statistischen Erhebungen wurden mit Hilfe des Programms SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) in Version 15 für Microsoft Windows.

2.4.1. Ausreißer-Analyse

Bei der Ausreißer-Analyse wurde die Verteilung der Amplitudenwerte jeder abgeleiteten Elektrode berechnet. Amplitudenwerte oberhalb des dritten Quartils plus drei Interquartilsabständen und unterhalb des ersten Quartils minus drei Interquartilsabständen dieser Verteilungen wurden nicht für weitere Berechnungen herangezogen (Clark-Carter, 2004; Tukey, 1977).

2.4.2. Auswertung der Fragebögen

Um die Fragebögen der beiden unterschiedlichen Stichproben auf signifikante Unterschiede zu untersuchen, wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Zunächst wurden die Varianzen der Stichproben durch den Levene-Test auf Varianzgleichheit überprüft. Unterschieden sich die Varianzen nicht signifikant, wurde ein t-Test berechnet.

2.4.3. Auswertung der evozierten Potentiale

Um Einflüsse der Elektrodenposition beziehungsweise der experimentellen Bedingungen auf die Amplitude der evozierten Potentiale zu bestimmen, wurde bei mehrfaktoriellem Design eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Mit dem Mauchly-Test wurde die Annahme auf Sphärizität überprüft. Im Falle von signifikanten Ergebnissen wurde die Greenhouse-Geißer-Korrektur verwendet (bei $\epsilon < 0,75$). Unterschiede innerhalb der Bedingungen wurden mit post-hoc-Tests (t-Test mit Bonferroni-Korrektur) berechnet.

Es wurde jeweils für N200 und P300 ein 2x3x4-Modell berechnet mit den Faktoren Versuch („ja-nein“, „re-li“), Elektrode (Fz, Cz, Pz) und Bedingung (Go, NoGo, freiwillige Reaktion, Kontrolle).

Zudem wurde jeweils separat für die Experimente für N200 und P300 ein 2x3x5-Modell berechnet mit den Faktoren Tageszeit (Vormittag, Nachmittag), Elektrode (Fz, Cz, Pz)

und Bedingung (Go, NoGo, Kontrolle, gewählte Handlung mit Reaktion/ Reaktion rechts, gewählte Handlung ohne Reaktion/Reaktion links).

2.4.4. Korrelationen

Um Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen zu untersuchen, wurden zweiseitig Korrelationen mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten berechnet. Beim Vorliegen von ordinal-skalierten Merkmalen wurden die Korrelationen mit dem Spearman-Korrelationskoeffizienten berechnet.

2.4.5. Signifikanz

Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Wenn der p-Wert dieses Niveau unterschritt, wurde die Nullhypothese der statistischen Tests verworfen und das Ergebnis als signifikant bezeichnet. Bei P-Werten unter 0,01 wurde das Ergebnis als hochsignifikant eingestuft. P-Werte unter 0,1 wurden als Trend bewertet.

2.5. Stichprobe

Die Rekrutierung fand durch Aushang statt. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Über die Freiwilligkeit der Untersuchung und die Möglichkeit eines jederzeit möglichen Widerrufs der Teilnahme, ohne Angabe von Gründen und zu erwartenden Nachteilen, wurden die Probanden persönlich und schriftlich vorab aufgeklärt. Genauso wurde jeder Proband vorab über den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt. Jeder Proband erhielt für die Teilnahme eine Aufwandsentschädigung von zwanzig Euro. An der Studie nahmen insgesamt vierunddreißig gesunde männliche Probanden zwischen achtzehn und fünfunddreißig Jahren teil. Diese relativ enge Altersspanne wurde bewusst gewählt, weil andere Studien darauf hinweisen, dass das Alter Einfluss auf die in dieser Studie im Fokus stehenden neurophysiologischen Korrelate (N200, P300 – siehe Teil 1.1.1.3.) hat. Die Wahl der relativ engen Altersspanne soll sicherstellen, dass die Unterschiede bei den elektrophysiologischen Korrelaten nicht auf Unterschiede des Alters sondern tatsächlich

auf die Versuchsanordnung zurückzuführen sind (Popescu 2005; Kügler et al. 1993; Polich et al. 1996; Díaz et al., 1998). Da auch das Geschlecht Effekte auf diese im Zentrum des Interesses stehenden elektrophysiologischen Korrelate hat (Popescu 2005; Deldin et al. 1994; Hegerl et al. 1985), beschränkt sich diese Studie auf die Teilnahme von männlichen Probanden. Diese konnten durch Aushänge sowie aus dem Kollegen- und Bekanntenkreis rekrutiert werden. Die Probanden wurden entsprechend dem Zeitpunkt ihrer Zusage zur Teilnahme an der Studie auf die beiden unterschiedlichen Versuchsbedingungen verteilt (jeweils siebzehn Probanden pro Experiment). In den Auswertungen dieser Studie konnten siebenundzwanzig Teilnehmer berücksichtigt werden: Bei dem sogenannten „Ja-nein-Experiment“ mussten drei Probanden aus der Studie ausgeschlossen werden, da sie bei über fünfzehn Prozent der „NoGo“-Aufgabe mit Tastendruck reagiert hatten.

Bei der Auswertung des sogenannten „Re-li“-Experiments mussten vier Probanden aus der Studie ausgeschlossen werden. Drei Probanden reagierten bei über fünfzehn Prozent aller „Volitions“-Bedingungen nicht, obwohl bei dieser Bedingung ein Tastendruck mit links oder rechts erfolgen hätte sollen.

Ein weiterer Proband musste aus der Studie ausgeschlossen werden, da er zu häufig bei einer der beiden Kontrollbedingungen mit einem Drücken der rechten Taste reagierte.

2.5.1. Einschlusskriterien

Folgende Kriterien mussten erfüllt sein, um einen Probanden zu dieser Studie zuzulassen:

- Schriftliche Einverständniserklärung
- Männlich zwischen 18 und 35 Jahren

2.5.2. Ausschlusskriterien

Beim Zutreffen eines der folgenden Kriterien, wurden potenzielle Probanden von der Studie ausgeschlossen:

- Vorliegen einer Hörstörung
- Vorliegen einer psychiatrischen Erkrankung
- Vorliegen einer neurologischen Erkrankung
- Einnahme von psychotropen Substanzen innerhalb von vierzehn Tagen vor dem Versuch (Ausnahmen: Alkohol und Nikotin)

2.5.3. Demographische Daten

Insgesamt wurden für die Auswertungen 27 gesunde Probanden berücksichtigt. Der Median der Altersverteilung liegt bei 24 Jahren. Der Mittelwert beläuft sich auf 24,04 Jahre (Standardabweichung = 2,71 Jahre). Der Altersbereich bewegt sich zwischen 20 und 34 Jahren. Durchschnittlich hatten die berücksichtigten Probanden zum Zeitpunkt des Versuches 16,44 Jahre Ausbildung absolviert (Standardabweichung = 1,79 Jahre). Die Stichproben unterscheiden sich nicht signifikant bei den Kriterien Alter und Anzahl der Ausbildungsjahre.

2.5.3.1. Demographische Daten des „Ja-nein-Paradigmas“

Für die Studie wurden bei diesem Experiment vierzehn gesunde Probanden berücksichtigt. Der Median der Altersverteilung lag bei 24 Jahren. Der Mittelwert betrug 24,79 Jahre (Standardabweichung = 3,31 Jahre). Die Altersspanne bewegte sich zwischen 21 und 34 Jahren. Durchschnittlich haben die berücksichtigten Probanden zum Zeitpunkt des Versuches 16,61 Jahre Ausbildung absolviert gehabt (Standardabweichung = 1,96 Jahre) (Siehe auch Tabelle 2.5.3.2.1, S. 36).

2.5.3.2. Demographische Daten des „Re-li- Paradigmas“

Für die Studie wurden bei diesem Experiment dreizehn gesunde Probanden berücksichtigt. Der Median der Altersverteilung lag bei 24. Der Mittelwert belief sich auf 23,23 Jahre (Standardabweichung = 1,64 Jahre). Die Altersrange bewegte sich zwischen 20 und 26 Jahren. Durchschnittlich hatten die berücksichtigten Probanden zum Zeitpunkt des Versuches 16,27 Jahre Ausbildung absolviert (Standardabweichung = 1,64) (Siehe auch Tabelle 2.5.3.2.1).

Stichprobe	„Ja-nein“		„Re-li“		gesamt	
Anzahl	14		13		27	
Mittelw./Stdw.	M	SD	M	SD	M	SD
Alter in Jahren	24,79	(±3,31)	24,04	(±2,71)	16,27	(±1,64)
Ausbildungsjahre in Jahren	23,23	(±1,64)	16,61	(±1,96)	16,44	(±1,79)
Händigkeit re:li	13:1		13:0		26:1	

Tabelle 2.5.3.2.1: Demographische Daten: *M* = Mittelwert und *S* = Standardabweichung

2.5.4. Psychometrische Erhebungen

Jeder Proband beantwortete vor dem experimentellen Paradigma mehrere Fragebögen. Dadurch konnten Daten erhoben werden, die Auskunft über Befindlichkeit, Persönlichkeitsstruktur, Demographie und medizinische Vorgeschichte eines jeden Probanden geben.

2.5.4.1. Soziodemographische Daten

Die soziodemographischen Daten wurden mit Hilfe eines Fragebogens erhoben. Erfasst wurden Beruf der Eltern, Schul- und Ausbildungsstand, erlernte und ausgeübte Berufe, sowie Berufs-, Ausbildungs- und Schuljahre. Zudem wurde der Substanzgebrauch (Medikamente, Tabak, Alkohol und Drogen) erhoben. Orientierend wurden des Weiteren Daten zur bisherigen Krankengeschichte der Probanden erhoben. Gefragt wurde nach neurologischen sowie psychischen Krankheiten Verwandter ersten und zweiten Grades, Störungen der Entwicklung, Geburtskomplikationen, Hörbehinderung, früheren oder aktuellen schweren beziehungsweise chronischen Erkrankungen. Zusammenfassend war die Gesamtheit der Angaben sehr homogen. Es ergaben sich keine Anhaltspunkte dahingehend eine weiterführende statistische Auswertung vorzunehmen.

2.5.4.2. State-Trait-Angstinventar (STAI)

Die aktuelle Angst und allgemeine Ängstlichkeit wird von dem deutschen State-Trait-Angstinventar erfasst (Laux et al., 1981). Der Fragebogen STAI X1, der 20 Fragen umfasst, soll die aktuelle Ängstlichkeit erfassen. Da sich deren Ausprägung am Testtag vormittags und nachmittags unterschiedlich darstellen kann, wurde dieser Fragebogen vor beiden Durchläufen ausgefüllt. Als Antwortmöglichkeiten stehen den Probanden auf einer vierstufigen Skala folgende Intensitätsabstufungen zur Auswahl: (1) überhaupt nicht, (2) ein wenig, (3) ziemlich, (4) sehr.

Der Fragebogen STAI X2 besteht ebenfalls aus 20 Fragen. Er soll die generelle Ängstlichkeit erfassen. Er wurde jeweils ein Mal durch die Probanden ausgefüllt. Als Antwortmöglichkeiten stehen den Probanden auf einer vierstufigen Skala folgende Abstufungen zur Auswahl: (1) fast nie, (2) manchmal, (3) oft, (4) fast immer (Laux et al., 1981).

Bei dem STAI X1 ergaben sich bei dem „Ja-nein-Experiment“ Durchschnittswerte von vormittags 33,50 (Standardabweichung = 5,095) und nachmittags von 34,00 (Standardabweichung = 5,533). Die Werte unterschieden sich nicht signifikant ($T = -0,905$; $p = 0,382$).

Für das „Re-li-Experiment“ beliefen sich die Durchschnittswerte auf vormittags 33,15 (Standardabweichung = 6,606) und nachmittags auf 32,15 (Standardabweichung = 7,175). Die Ergebnisse unterschieden sich auch nicht signifikant ($T = -0,642$; $p = 0,533$). Die Ängstlichkeitswerte der Stichprobe unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen des „Re-li-Paradigmas“ und des „Ja-nein-Paradigmas“ ($T = 0,153$; $p = 0,880$). Auch in dem Aspekt „generelle Ängstlichkeit“ unterschieden sich die jeweiligen Gruppen des „Re-li-Paradigmas“ und des „Ja-nein-Paradigmas“ nicht signifikant ($T = 0,005$; $p = 0,996$).

STAI X1	„Ja-nein“		„Re-li“		p-Wert
	M	SD	M	SD	
Vormittag	33,50	±5,095	33,15	±6,606	0,880
Nachmittag	34,00	±5,533	32,15	±7,175	
p-Wert	0,382		0,533		
STAI X2	33,86	±5,318	33,85	±5,655	0,966

Tabelle 2.5.4.2.1 : Ergebnisse des STATE-TRAIT-ÄNGST-Inventars: M = Mittelwert, S = Standardabweichung

2.5.4.3. State-Trait-Ärger-Ausdrucks-Inventar (STAXI)

Der aktuelle Ärger wird genauso wie die allgemeine Disposition zu Ärger von der deutschen Fassung des State-Trait-Ärger-Ausdrucks-Inventars (Schwenkmezger et al., 1992) aufgenommen. Zur Erfassung von Ärger beantworteten die Probanden Fragen auf einer Skala, von 1 (überhaupt nicht) bis 4 (sehr) reicht. Bei der allgemeinen Disposition zu Ärger diskriminiert der Fragebogen zwischen Ärger-Kontrolle, genereller Disposition zu Ärger, dem nach innen gerichtete Ärger (Unterdrückung von Ärger) und dem nach außen gerichteten Ärger (Ärger Ausdruck). Dazu wurden Fragen ebenfalls auf einer Skala zwischen 1 und 4 beantwortet, bei der 1 für „fast nie“ und 4 für „fast immer“ steht (Schwenkmezger et al., 1992).

Bei dem STAXI State ergaben sich bei dem „Ja-nein“-Experiment Durchschnittswerte von vormittags 10,79 (Standardabweichung = 1,528 und nachmittags von 10,75 (Standardabweichung = 1,222).

Für das „Re-li“-Experiment beliefen sich die Durchschnittswerte auf vormittags 10,62 (Standardabweichung = 0,961) und nachmittags von 10,54 (Standardabweichung = 0,967).

Die Erfassung des aktuellen Ärger Niveaus ergab sowohl für das „Ja-nein-Paradigma“ ($T= 0,898$; $p= 0,385$) als auch für das „Re-li“-Paradigma ($T= 0,562$; $p= 0,584$) keine signifikanten Unterschiede bei den jeweiligen Stichproben zwischen den jeweiligen beiden Durchläufen (Vor- und Nachmittag). Auch die beiden Gruppen des „Ja-nein-Modelles“ und des „Re-li-Modelles“ weisen für diesen Aspekt keinen signifikanten Unterschied untereinander auf ($T= 0,344$; $p= 0,734$) (siehe auch Tabelle 2.5.4.3.1, S. 40). Die „Ja-nein“-Stichprobe kam bei dem Kriterium „generelle Disposition zu Ärger“ auf einen Durchschnittswert von 15,79 (Standardabweichung = 3,806). Die andere Stichprobe erreichte einen durchschnittlichen Wert von 15,54 (Standardabweichung = 3,886) (siehe auch Tabelle 2.5.4.3.2, S. 40).

Die beiden Gruppen unterschieden sich in diesem Aspekt nicht signifikant ($T= 0,344$; $p= 0,734$).

Bei dem Aspekt „Ärger Kontrolle“ ergaben sich für das „Ja-nein“-Experiment Durchschnittswerte von 22,93 (Standardabweichung = 2,786) und bei dem „Re-li-Paradigma“ von 23,62 (Standardabweichung = 3,664).

Auch in diesem Aspekt, „Ärger Kontrolle“, unterscheiden sich die jeweiligen Stichproben des „Re-li-Paradigmas“ und des „Ja-nein-Paradigmas“ nicht signifikant ($T= -0,551$; $p= 0,587$).

Bei dem Ärger-Ausdrucksverhalten würde für das „Ja-nein-Paradigma“ ein Mittelwert von 11,79 (Standardabweichung = 3,043) erreicht. Bei dem anderen Paradigma kam es zu einem Mittelwert von 10,92 (Standardabweichung = 3,148).

Die jeweiligen Gruppen des „Re-li-Paradigmas“ und des „Ja-nein-Paradigmas“ unterschieden sich ebenfalls bei diesem Aspekt nicht signifikant ($T = 0,724$; $p = 0,476$).

Die Stichprobe des „Ja-nein-Paradigmas“ kam bei dem Aspekt „Ärger Unterdrückung“ auf einen Durchschnittswert von 15,79 (Standardabweichung = 4,371). Die andere Stichprobe erreichte einen durchschnittlichen Wert von 14,00 (Standardabweichung = 4,000).

Die Probandengruppen des „Re-li-Paradigmas“ und des „Ja-nein-Paradigmas“ unterschieden sich auch nicht signifikant bei dem Aspekt „Ärger Unterdrückung“ ($T = 1,105$; $p = 0,280$).

„Ärger aktuell“	Vormittag		Nachmittag		p-Wert
	M	SD	M	SD	
„Ja-nein“	10,79	±1,528	10,57	±1,222	0,385
„Re-li“	10,62	±0,961	10,54	±0,967	0,584

Tabelle 2.5.4.3.1: Ergebnisse des STATE-TRAIT-ÄRGER-AUSDRUCKS-Inventars, „Kriterium aktueller Ärger“: Vergleich Vormittag versus Nachmittag sowie Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung

	„Ja-nein“		„Re-li“		p-Wert
	M	SD	M	SD	
Ärger aktuell	10,79	±1,528	10,62	±0,961	0,734
Disposition Ärger generell	15,79	±3,806	15,54	±3,886	0,869
Disposition Ärger zu kontrollieren	22,93	±2,786	23,62	±3,664	0,587
Disposition Ärger auszudrücken	11,79	±3,043	10,92	±3,148	0,476
Disposition Ärger zu unterdrücken	15,79	±4,371	11,79	±4,000	0,280

Tabelle 2.5.4.3.2: Ergebnisse des STATE-TRAIT-ÄRGER-AUSDRUCKS-Inventars: Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung

2.5.4.4. Beck-Depressions-Inventar (BDI)

Um depressive Symptome bei den Probanden zu detektieren, wurde das Beck-Depressions-Inventar verwendet. Es handelt sich dabei um einen seit dreißig Jahren international angewandten Fragebogen zur Selbstevaluierung des Schweregrades depressiver Symptomatik. Der Proband bewertet subjektiv Aussagen, auf einer Skala zwischen null und drei, wobei null für gar nicht und drei für sehr zutreffend stehen. Werte über vierzehn weisen auf das Vorliegen einer Depression hin (Beck et al., 1961).

Der Mittelwert der an dieser Studie beteiligten Probanden liegt bei 2,70. Die dazugehörige Standardabweichung beträgt 2,493. Die Probanden erreichten Werte zwischen 0 und 9. Somit musste keiner der Probanden auf Grund des BDI von der Studie ausgeschlossen werden. Die Stichprobe des „Ja-nein-Paradigmas“ erreichte einen Mittelwert von 2,86 ($\pm 2,179$). Die Stichprobe des „Re-li“-Paradigmas kam zu einem Mittelwert 2,54 ($\pm 2,876$). Der T-Test bezüglich des BDI zwischen den beiden Stichproben ergab ein Signifikanzniveau von 0,747. Damit unterscheiden sich die beiden Stichproben bezüglich dieses Merkmals nicht signifikant ($T= 0,326$; $p= 0,747$).

2.5.4.5. Visuelle Analogskala zur Motivation und Anstrengung

Anhand einer fünf-stufigen visuellen Likert-Skala beurteilten die Probanden subjektiv nach jedem Durchlauf eines Experimentes ihre Mühe, Anstrengung und Leistung. Zudem bewerten die Probanden die Schwierigkeit der Aufgabe. Mulert und Kollegen demonstrierten im Jahr 2005, dass sowohl elektrophysiologische Korrelate als auch Reaktionszeiten mit diesen, anhand der Likert-Skala gewonnenen Werte, korrelieren können (Mulert et al., 2005).

Es konnte bei allen durch diesen Fragebogen erfassten Werten weder signifikante Unterschiede zwischen den beiden unterschiedlichen Experimenten (Schwierigkeit: $T= -0,224$; $p= 0,825$; Mühe: $T= 0,985$; $p= 0,334$; Anstrengung: $T= -0,368$; $p= 0,716$; Leistungsvermögen: $T= 1,767$; $p= 0,089$) noch zwischen den jeweils beiden Durchläufen einer Versuchsanordnung festgestellt werden: „Ja-nein-Modell“: Mühe ($T= -0,563$; $p= 0,583$), Leistungsvermögen ($T= 1,295$; $p= 0,218$). (Siehe auch Tabelle 2.5.4.5.1).

Visuelle-Analog-Skala	Schwierigkeit		Mühe		Anstrengung		Leistung	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
„Ja-nein“- Vormittag	1,86	$\pm 0,86$	4,43	$\pm 0,65$	2,57	$\pm 0,85$	3,64	$\pm 0,63$
„Ja-nein“- Nachmittag	2,00	$\pm 0,96$	4,50	$\pm 0,86$	2,86	$\pm 0,95$	3,36	$\pm 0,63$
p-Wert	0,336		0,583		0,263		0,218	

„Re-li“- Vormittag	1,92	±0,64	4,15	±0,80	2,69	±0,86	3,15	±0,80
„Re-li“- Nachmittag	2,00	±1,00	4,31	±0,75	3,00	±1,08	3,00	±0,91
p-Wert	0,673		0,337		0,392		0,549	
„Re-li“/ „ja-nein“: p-Wert	0,825		0,334		0,716		0,089	

Tabelle 2.5.4.5.1: Ergebnisse der Visuellen-Analog-Skala für die Kriterien Schwierigkeit, Mühe, Anstrengung und Leistung: jeweils Vergleich Vormittag versus Nachmittag beider Paradigmen sowie Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung

2.5.4.6. Wortschatztest (WST)

Zur Einschätzung der verbalen Intelligenz waren die Probanden aufgefordert aus neununddreißig, jeweils fünf Worte umfassenden, Reihen das Wort pro Reihe auszuwählen, welches tatsächlich im deutschen Sprachraum existiert. Die Probanden des „Ja-nein-Modelles“ antworteten durchschnittlich 35,86 Male richtig. Die Standardabweichung betrug 2,35. Dies ergab einen durchschnittlichen geschätzten verbalen IQ von 117,50 (Standardabweichung = 9,20).

Die Probanden des „Re-li-Modells“ antworteten durchschnittlich 36,31 Male richtig bei einer Standardabweichung von 2,02. Dies ergab einen durchschnittlichen geschätzten verbalen IQ von 119,31 (Standardabweichung = 8,07).

Es zeigten sich kein signifikanter Unterschied in diesem Test zwischen den Probandengruppen beider Versuchsanordnungen: IQ: $p = 0,593$ ($T = -0,541$); Anzahl richtiger Antworten: $p = 0,599$ ($T = -0,533$).

2.5.4.7. NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI)

Der NEO-FFI ist ein multidimensionales Persönlichkeitsinventar. Es erfasst folgende fünf Faktoren: Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und

Gewissenhaftigkeit. Die Anfangsbuchstaben der ersten drei aufgezählten Faktoren bilden das Akronym „NEO“ (Costa, McCrae; Borkenau und Ostendorf, 2008). Es ergaben sich für keinen der Faktoren signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen Stichproben der beiden Versuchsanordnungen: Neurotizismus ($T = 0,114$; $p = 0,910$), Extraversion ($T = 0,268$; $p = 0,791$), Offenheit ($T = 0,-0,583$; $p = 0,565$), Verträglichkeit ($T = 0,762$; $p = 0,453$) und Gewissenhaftigkeit ($T = -0,912$; $p = 0,370$).

NEO-FFI	„Ja-nein“		„Re-li“		p-Wert
	M	SD	M	SD	
Neurotizismus	1,23	± 0,42	1,21	± 0,55	0,910
Extraversion	2,40	± 0,60	2,34	± 0,52	0,791
Offenheit	2,53	± 0,62	2,66	± 0,51	0,565
Verträglichkeit	2,61	± 0,47	2,48	± 0,36	0,453
Gewissenhaftigk.	2,64	± 0,38	2,80	± 0,51	0,370

Tabelle 2.5.4.7.1: Ergebnisse des NEO-Fünf-Faktoren-Inventars (NEO-FFI) für die Kriterien Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit: jeweils Vergleich Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung

3. Ergebnisse

Nach der Artefaktkorrektur standen zur Analyse der EEG-Daten für das „Ja-nein-Paradigma“ durchschnittlich folgende Anzahl an Segmenten zur Verfügung: 150,78 Segmente für die Go-Bedingung vormittags sowie 148,79 nachmittags, 75,85 Segmente für die NoGo-Bedingung vormittags sowie 77,14 nachmittags, 77,26 Segmente für die Volitions-Bedingung vormittags (davon 43,50 Segmente mit und 33,76 Segmente ohne Reaktion) sowie 78,07 nachmittags (davon 46,64 Segmente mit und 31,43 Segmente ohne Reaktion) und 74,07 Segmente für die Kontrollbedingung vormittags sowie 74,50 nachmittags.

Bedingung	Anzahl Bedingung	EEG-Segmente [n]	EEG-Segmente [%]
Go	160	150,78	94,24
NoGo	80	75,85	94,82
Volition	80	77,26	96,61
Kontrolle	80	74,07	92,59

Tabelle 3.0.1.: „Ja-nein-Paradigma“ (vorm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): $n = \text{Anzahl}$

Bedingung	Anzahl Bedingung	EEG-Segmente [n]	EEG-Segmente [%]
Go	160	148,79	92,99
NoGo	80	77,14	96,43
Volition	80	78,07	97,59
Kontrolle	80	74,50	93,13

Tabelle 3.0.2.: „Ja-nein-Paradigma“ (nachm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): $n = \text{Anzahl}$

Für das „Re-li-Paradigma“ standen nach der Artefaktkorrektur zur Analyse der EEG-Daten durchschnittlich folgende Anzahl an Segmenten zur Verfügung: 189,77 Segmente für die Go- Bedingung vormittags sowie 185,85 nachmittags, 96,92 Segmente für die NoGo-Bedingung vormittags sowie 94,69 nachmittags, 91,77 Segmente für die Volitions-Bedingung vormittags (davon 42,54 Segmente mit Reaktion rechts und 49,23 Segmente mit Reaktion links) sowie 93,15 nachmittags (davon 47,00 Segmente mit Reaktion rechts und 46,15 Segmente mit Reaktion links) und 91,92 Segmente für die Kontrollbedingung vormittags sowie 91,08 nachmittags.

Bedingung	Anzahl Bedingung	EEG-Segmente [n]	EEG-Segmente [%]
Go	200	189,77	94,88
NoGo	100	96,92	96,92
Volition	100	91,77	91,77
Kontrolle	100	91,92	91,92

Tabelle 3.0.3.: „Re-li-Paradigma“ (vorm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): $n = \text{Anzahl}$

Bedingung	Anzahl Bedingung	EEG-Segmente [n]	EEG-Segmente [%]
Go	200	185,85	92,92
NoGo	100	94,69	94,69
Volition	100	93,15	93,15
Kontrolle	200	91,08	91,08

Tabelle 3.0.4.: „Re-li-Paradigma“ (nachm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): n = Anzahl

3.1. Verhaltensdaten

3.1.1. Experiment 1: „Ja-nein-Paradigma“

3.1.1.1. Anzahl der Reaktionen

Von den jeweils 160 präsentierten Go-Stimuli reagierten die Probanden im Mittel vormittags bei 155,57 ($\pm 2,71$) und nachmittags bei 152,29 ($\pm 5,70$) der Aufgabe mit einem Tastendruck. Von den jeweils 80 dargebotenen Volitions-Bedingungen wurde sich vormittags durchschnittlich 45,07 Mal ($\pm 8,51$) und nachmittags 47,93 Mal ($\pm 8,58$) für einen Tastendruck entschieden.

Die Probanden reagierten bei der Go-Bedingung vormittags auf Trendniveau häufiger als nachmittags ($T = 2,156$; $p = 0,050$), Es ergaben sich keine statistischen Unterschiede zwischen vormittags und nachmittags bezüglich der Anzahl an Reaktionen bei der Volitions-Bedingung ($T = -1,678$; $p = 0,117$).

3.1.1.2. Reaktionszeiten

Bei dem „Ja-nein-Paradigma“ zeigten sich mittlere Reaktionszeiten für die Bedingung Go vormittags von 515,97 ms (Standardabweichung = 116,93) und nachmittags von 503,89 ms (Standardabweichung = 90,31), für die Bedingung Volition vormittags von 810,97 ms (Standardabweichung = 178,95) und nachmittags von 803,60 ms (Standardabweichung = 165,46).

Es ergaben sich keine statistischen Unterschiede zwischen vormittags und nachmittags bezüglich den Reaktionszeiten bei der Go-Bedingung ($T = 0,644$; $p = 0,531$) beziehungsweise der Volitions-Bedingung ($T = 0,326$; $p = 0,749$).

Bei der Volitions-Bedingung war die Reaktionszeit signifikant länger als bei der Go-Bedingung ($F(1,13) = 101,553$; $p < 0,001$).

3.1.2. Experiment 2: „Re-li-Paradigma“

3.1.2.1. Anzahl der Reaktionen

Von den jeweils 200 präsentierten Go-Stimuli reagierten die Probanden im Mittel vormittags bei 194,62 ($\pm 6,789$) und nachmittags bei 194,46 ($\pm 3,526$) der Aufgabe entsprechend mit einem Tastendruck. Von den jeweils 100 dargebotenen Volitions-Bedingungen wurde sich vormittags durchschnittlich 94,38 Mal ($\pm 3,176$) und nachmittags 95,08 Mal ($\pm 2,629$) für einen Tastendruck entschieden.

Von den jeweils 100 dargebotenen Volitions-Bedingungen wurde sich vormittags durchschnittlich 50,69-fach für eine Reaktion mit links und 43,69-fach ($\pm 7,454$) für einen Tastendruck mit rechts entschieden. Zudem wurde sich nachmittags durchschnittlich 47,92-fach für eine Reaktion mit links und 47,16-fach ($\pm 8,351$) für einen Tastendruck mit rechts entschieden.

Es ergaben sich keine statistischen Unterschiede zwischen vormittags und nachmittags bezüglich der Anzahl an Reaktionen bei der Go-Bedingung ($T = 0,110$; $p = 0,915$) und bei der Volitions-Bedingung ($T = -1,000$; $p = 0,337$) sowie der Anzahl der Reaktionen mit links beziehungsweise rechts ($T = -1,443$; $p = 0,175$).

3.1.2.2. Reaktionszeiten

Bei dem „Re-li-Paradigma“ zeigten sich mittlere Reaktionszeiten für die Bedingung Go vormittags von 568,65 ms (Standardabweichung = 127,49) und nachmittags von 519,87 ms (Standardabweichung = 108,62) sowie für die Bedingung Volition vormittags von 850,21 ms (Standardabweichung = 242,42) und nachmittags von 791,62 ms (Standardabweichung = 200,35). Dabei imponierten vormittags mittlere Reaktionszeiten

für die Bedingung Volition mit Reaktion rechts von 840,30 ms (Standardabweichung = 240,71) und links von 861,59 ms (Standardabweichung = 243,68) und nachmittags mittlere Reaktionszeiten für die Bedingung Volition mit Reaktion rechts von 779,05 ms (Standardabweichung = 209,36) und links von 808,89 ms (Standardabweichung = 189,87).

Bei der Volitions-Bedingung war die Reaktionszeit signifikant länger als bei der Go-Bedingung ($F(1,12) = 31,321$; $p < 0,001$).

Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen vormittags und nachmittags bezüglich den Reaktionszeiten bei der Go-Bedingung ($T = 2,694$; $p = 0,020$) beziehungsweise der Volitions-Bedingung ($T = 2,431$; $p = 0,032$).

Es ergaben sich Tendenzen für geringfügig schnellere Reaktionen mit rechts gegenüber Reaktionen mit links bezüglich den Reaktionszeiten bei der Volitions-Bedingung sowohl vormittags ($T = - 1,797$; $p = 0,098$) als auch nachmittags ($T = - 2,081$; $p = 0,059$) auf Trendniveau.

Zudem ergab sich vormittags eine positive Korrelation zwischen der von den Probanden angegebenen empfundenen (VAS-) Anstrengung und der Reaktionszeit bei der Go-Bedingung ($p = 0,046$).

3.1.3. Gesamtstichprobe

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Paradigmen hinsichtlich den Reaktionszeiten bei der Go-Bedingung ($T = - 1,120$; $p = 0,273$) sowie der Volitions-Bedingung ($T = - 0,481$; $p = 0,635$).

Das Ausmaß der empfundenen Anstrengung (VAS Anstrengung) vormittags bei der Re-li-Bedingung korrelierte signifikant positiv mit der Reaktionszeit von der Go-Bedingung ($p = 0,046$).

Neben der signifikant positiven Korrelation zwischen empfundener Anstrengung und der Reaktionszeit der Go-Bedingung vormittags bei dem Re-li-Paradigma konnten keine Zusammenhänge zwischen psychometrisch erhobenen Daten und den Verhaltensdaten (Reaktionszeiten, Anzahl von Reaktionen, Art der Reaktionen, fehlerhaftem Verhalten im Sinne der Aufgabenstellung) festgestellt werden.

3.2. Elektrophysiologische Daten

Die Abbildung zeigt eine Gruppenanalyse aller Durchgänge beider Paradigmen für die Bedingungen Go, NoGo und Volition, dargestellt an den Elektroden Fz und Cz:

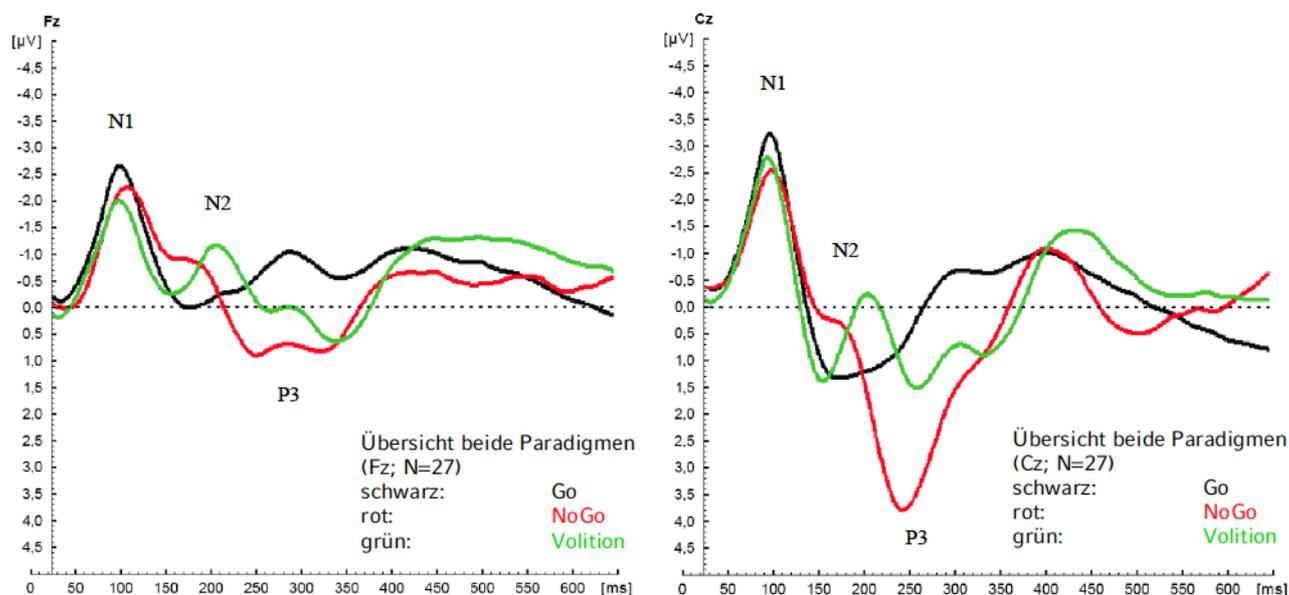


Abbildung 3.2.0.1: *Übersicht beider Paradigmen: N=27, schwarz: Go; rot: NoGo; grün: Volition*
Darstellung des Mittelwertes bei Fz und Cz; X-Achse: Zeit in ms; Y-Achse: Amplitudenwerte in µV;

Das N100-Potential zeigte sich für alle Bedingungen nach circa 100ms. Bei der Entscheidungsbedingung zeigt sich nach circa 230ms ein negatives Potential (N200) und nach etwa 340ms ein positives Potential (P300). Für die NoGo Bedingung zeigte sich das N200-Potential nach circa 200ms und das P300- Potential nach etwa 250ms.

3.2.1. Amplitudeneffekte bei Elektroden und Bedingungen

3.2.1.1. Ja-nein-Paradigma

Bei der N200-Amplitude zeigten sich signifikante Haupteffekte für die Elektrodenposition ($F(1,259; 16,364) = 6,889; p = 0,014$) und Bedingung ($F(3; 39) = 3,586; p = 0,022$). Die N200-Amplitude war in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz ($p = 0,001$). Ein post-hoc t-Test zeigte zudem, dass die N200-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung ($p = 0,023$) signifikant kleiner war. Es zeigte sich kein signifikanter Innersubjekteffekt für die Tageszeit ($F(1,13) = 1,275;$

$p = 0,279$). Bei der N200-Amplitude erwies sich die Interaktion der Elektrodenposition mit der Tageszeit als nicht signifikant ($F(2, 26) = 0,109$; $p = 0,897$). Die Interaktionen der Tageszeit mit der Bedingung ($F(3, 39) = 3,021$; $p = 0,041$) einerseits sowie Elektrodenposition und Bedingung ($F(6, 78) = 3,027$; $p = 0,010$) andererseits ergaben signifikante Werte.

Bei der P300-Amplitude zeigten sich signifikante Effekte sowohl für den Haupteffekt Bedingung ($F(1,899; 24,686) = 18,369$; $p < 0,001$) als auch der Interaktion zwischen Bedingung und Elektrodenposition ($F(6,78) = 8,205$; $p < 0,001$). Dabei war die P300-Amplitude in Cz signifikant höher als in Fz ($p = 0,005$). Ein Post-hoc t-Test für die Bedingungen zeigte, dass die P300-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Inhibitionsbedingung ($p < 0,001$) und der Entscheidungsbedingung ($p < 0,001$) signifikant kleiner war. Bei der Kontrollbedingung war die P300-Amplitude wiederum signifikant kleiner als bei NoGo- ($p = 0,001$) beziehungsweise der Entscheidungsbedingung ($p = 0,002$). Es zeigte sich kein signifikanter Innersubjekteffekt für die Tageszeit ($F(1,13) = 0,497$; $p = 0,493$).

Bei der P300 erwies sich die Interaktion der Haupteffekte mit der Tageszeit als nicht signifikant (Elektrodenposition: $F(2, 26) = 2,026$; $p = 0,152$; Bedingung: $F(3, 39) = 0,258$; $p = 0,855$; Elektrodenposition und Bedingung: $F(6, 78) = 0,538$; $p = 0,778$).

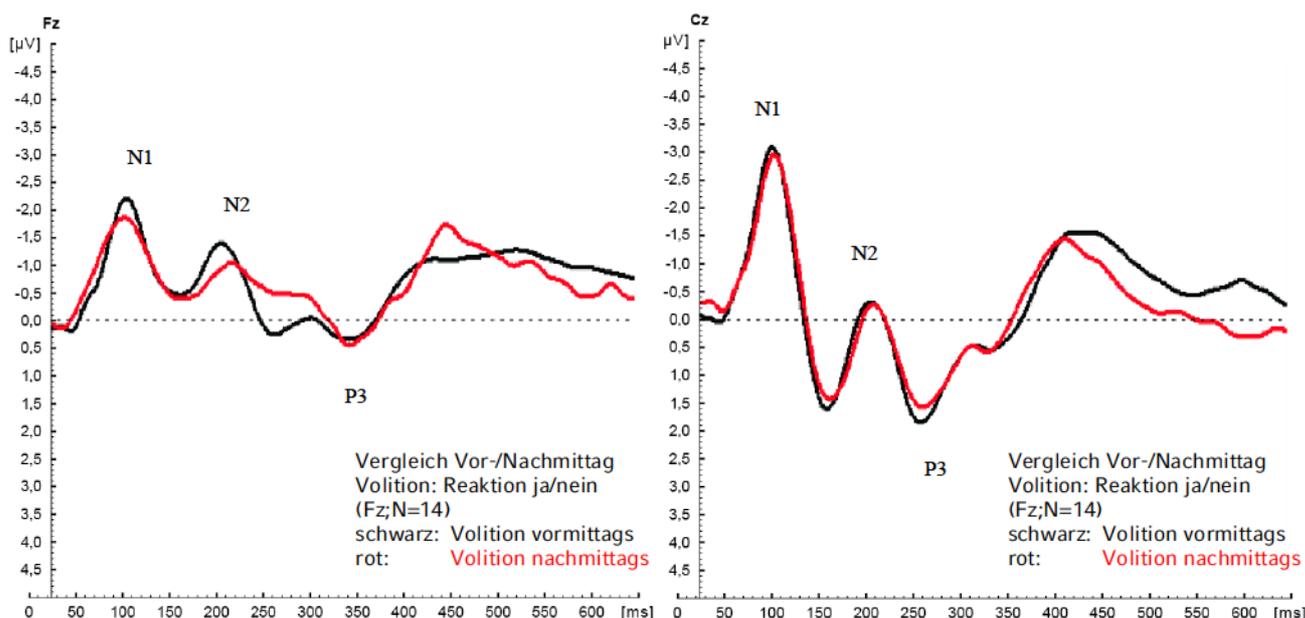


Abbildung 3.2.1.1.1: Vergleich Vor-/Nachmittag; $N=14$, Volition: Reaktion ja/nein; schwarz: Volition vormittags; rot: Volition nachmittags; Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X-Achse: Zeit in ms; Y-Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: die wiederholte Darbietung des Experiments führte zu keinen signifikanten Unterschieden bei der N200- beziehungsweise P300-Amplitude.

3.2.1.2. Re-li-Paradigma

Bei der N200-Amplitude zeigten sich signifikante Effekte bei der Elektrodenposition ($F(1,254; 15,052) = 13,761; p = 0,001$) und ein Trend bei der Bedingung ($F(3; 36) = 2,461; p = 0,078$). Die N200-Amplitude war in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz ($p < 0,001$) und Pz ($p = 0,002$). Ein Post-hoc t-Test für die Bedingungen zeigte, dass die N200-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung ($p = 0,192$) weniger ausgeprägt war. Es zeigte sich kein signifikanter Innersubjekteffekt für die Tageszeit ($F(1,12) = 2,253; p = 0,159$). Zudem zeigte sich bei der N200-Amplitude kein signifikanter Innersubjekteffekt zwischen der Entscheidung links zu drücken und der Entscheidung rechts zu drücken ($F(1,12) = 0,180; p = 0,679$). Bei der N200 erwies sich die Interaktion der Elektrodenposition mit der Tageszeit als nicht signifikant ($F(2, 24) = 2,786; p = 0,082$). Die Interaktionen der Tageszeit mit dem Effekt Bedingung ($F(3, 36) = 1,467; p = 0,240$) sowie Elektrodenposition und Bedingung gemeinsam ($F(6, 72) = 1,222; p = 0,305$) ergaben keine signifikante Effekte.

Bei der P300-Amplitude zeigten sich signifikante Effekte sowohl bei Elektrodenposition ($F(1,224, 14,686) = 7,092; p = 0,014$) und Bedingung ($F(1,591, 19,089) = 8,161; p = 0,004$) als auch der Interaktion beider Effekte/Bedingungen ($F(2,135, 25,616) = 3,491; p = 0,043$). Dabei unterschied sich die P300-Amplitude in Fz signifikant von der ausgeprägteren P300-Amplituden in Cz ($p = 0,033$) und Pz ($p < 0,001$). Ein post-hoc t-Test für die Bedingungen zeigte, dass die P300-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Inhibitionsbedingung ($p = 0,038$) und der Entscheidungsbedingung ($p = 0,010$) signifikant kleiner war. Es zeigte sich kein signifikanter Innersubjekteffekt für die Tageszeit ($F(1, 12) = 0,189; p = 0,672$). Zudem zeigte sich bei der P300-Amplitude kein signifikanter Innersubjekteffekt zwischen der Entscheidung links zu drücken und der Entscheidung rechts zu drücken ($F(1,12) = 0,016; p = 0,901$).

Bei der P300 erwies sich die Interaktion der Haupteffekte mit der Tageszeit als nicht signifikant (Elektrodenposition: $F(2, 24) = 0,350; p = 0,708$; Bedingung: $F(3, 36) = 1,221; p = 0,316$; Elektrodenposition und Bedingung: $F(6, 72) = 0,537; p = 0,778$).

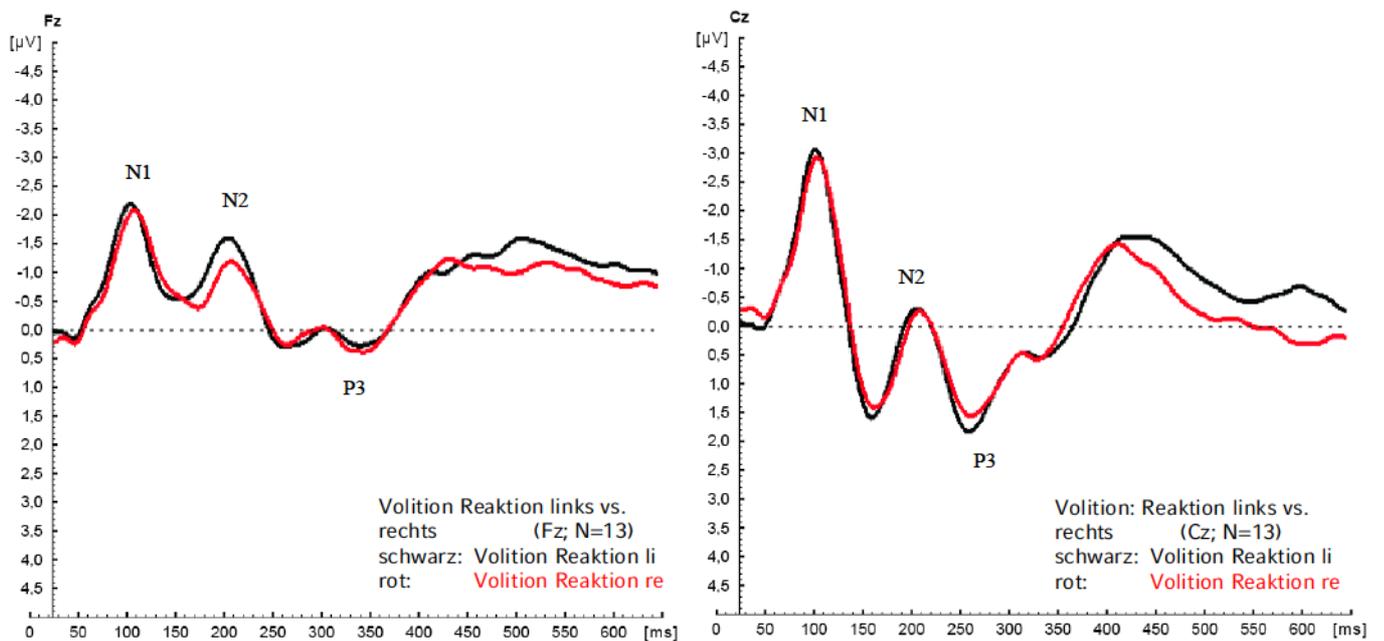


Abbildung 3.2.1.2.1: Vergleich Reaktion links/Reaktion rechts: $N=13$, Volition:

schwarz: **Volition links**; rot: **Volition rechts**

Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: Die Reaktionen mit der rechten beziehungsweise linken Taste führte zu keinen signifikanten Unterschieden bei der N200- beziehungsweise P300-Amplitude.

3.2.1.3. Re-li-Paradigma und Ja-nein-Paradigma

Bei der N200-Amplitude zeigten sich signifikante Effekte bei den Haupteffekten Elektrodenposition ($F(1,414; 35,358) = 17,866$; $p < 0,001$) und Bedingung ($F(3; 75) = 5,205$; $p = 0,003$). Die N200-Amplitude war in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz ($p < 0,001$) sowie Pz ($p = 0,001$). Ein Post-hoc t-Test für die Bedingungen zeigte zudem, dass die N200-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung ($p = 0,017$) sowie der Inhibitionsbedingung ($p = 0,042$) signifikant weniger ausgeprägt war. Die Höhe der N200-Amplituden für Volition korrelierte signifikant zwischen den beiden unterschiedlichen Tageszeiten (Fz: $KK = 0,773$; $p > 0,01$; Cz: $KK = 0,795$; $p > 0,01$).

Bei der P300-Amplitude zeigten sich signifikante Effekte sowohl bei der Elektrodenposition ($F(2, 50) = 7,088$; $p = 0,002$), der Bedingung ($F(2,112; 52,797) = 21,444$; $p < 0,001$) als auch der Interaktion beider Effekte/Parameter ($F(3,375, 84,381) = 8,108$; $p < 0,001$). Dabei unterschied sich die P300-Amplitude in Fz signifikant von der ausgeprägteren P300- Amplituden in Cz ($p = 0,009$) und Pz ($p = 0,001$). Ein post-hoc t-Test für die Bedingungen zeigte, dass die P300-Amplitude bei der Go-Bedingung

gegenüber der Inhibitionsbedingung ($p < 0,001$) und der Entscheidungsbedingung ($p < 0,001$) signifikant kleiner war. Darüber hinaus war die P300-Amplitude bei der Kontrollbedingung gegenüber der Inhibitionsbedingung ($p = 0,001$) und der Entscheidungsbedingung ($p = 0,001$) signifikant kleiner. Auch die Korrelationen der P300-Amplituden für Volition zwischen den beiden unterschiedlichen Tageszeiten korrelierten hoch signifikant (Fz: $KK = 0,864$; $p > 0,01$; Cz: $KK = 0,895$; $p > 0,01$).

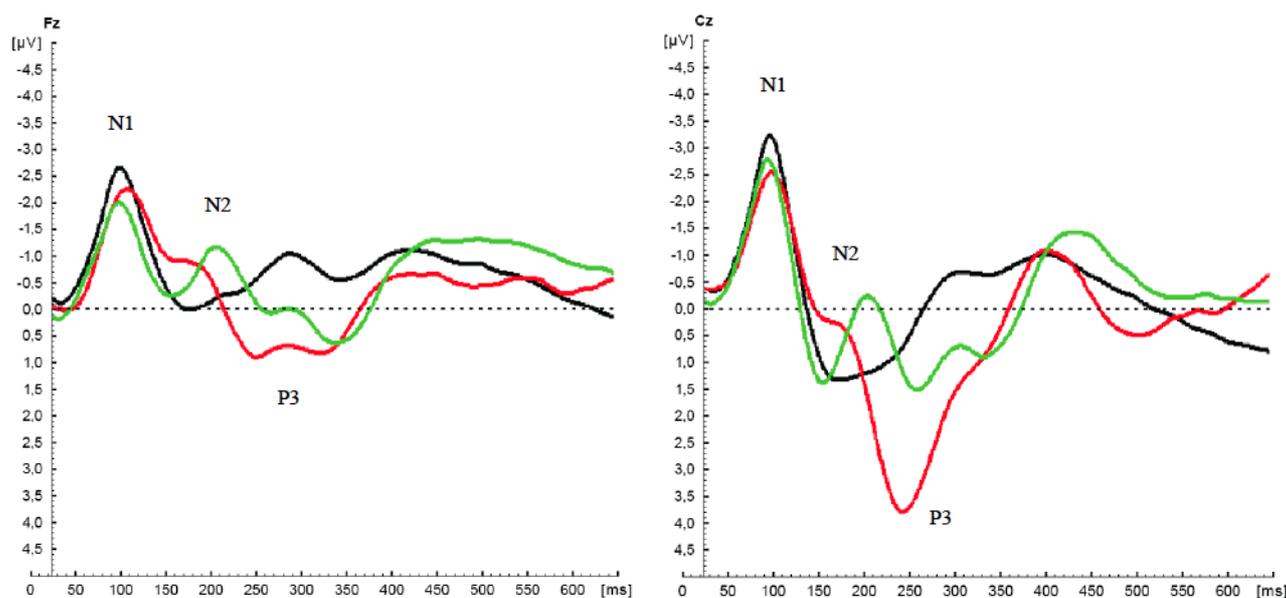


Abbildung 3.2.1.3.1: Übersicht beider Paradigmen: N=27, schwarz: Go; rot: NoGo; grün: Volition
Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in µV;
Evozierte Potentiale (beide Paradigmen, vor- und nachmittags): stärker ausgeprägter N200-Amplitude bei
der Volition-Bedingung im Vergleich zu der Inhibitions- (NoGo) und Go-Bedingung. P300-Amplitude bei
der Inhibition von Verhaltenstendenzen am deutlichsten ausgeprägt

3.2.1.4. Re-li-Paradigma versus Ja-nein-Paradigma

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied der N200-Amplitude zwischen dem Ja-nein-Paradigma und dem Re-li-Paradigma ($p = 0,459$). Des Weiteren zeigten sich keine signifikante Effekte bei der Interaktion von den beiden Paradigmen und der Elektrodenposition ($F(1,414, 35,358) = 0,212$; $p = 0,732$) und den Bedingungen ($F(3; 75) = 0,705$; $p = 0,552$) sowie der Interaktion aller drei Parameter ($F(3,914, 97,846) = 0,620$; $p = 0,646$).

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied der P300-Amplitude zwischen dem Ja-nein-

Paradigma und dem Re-li-Paradigma ($p = 0,727$). Des Weiteren zeigten sich keine signifikante Effekte bei der Interaktion von den beiden Paradigmen und der Elektrodenposition ($F(2, 50) = 2,687$; $p = 0,078$) und den Bedingungen ($F(2,112; 52,797) = 0,777$; $p = 0,471$) sowie der Interaktion aller drei Parameter ($F(3,375, 84,381) = 0,872$; $p = 0,470$).

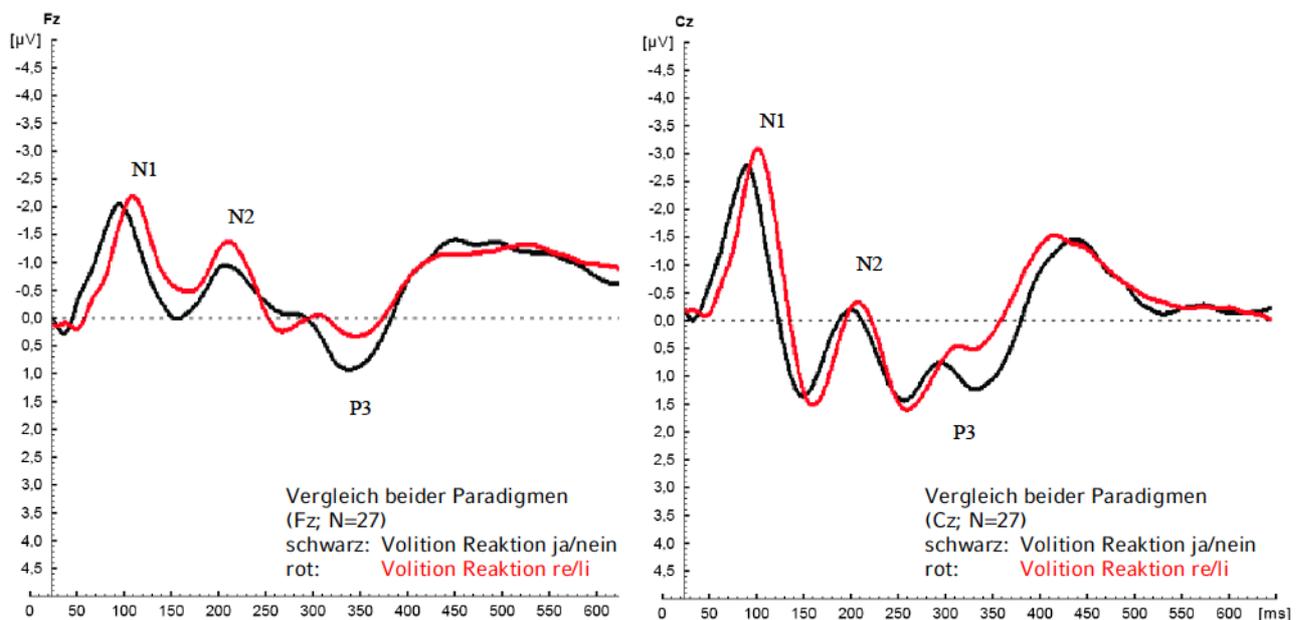


Abbildung 3.2.1.4.1: Vergleich der Entscheidungsbedingungen beider Paradigmen: N=27,

Volition: schwarz: **Volition Reaktion ja/nein**; rot: **Volition rechts/links**

Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: Vergleich der Entscheidungsbedingungen: Reaktion/keine Reaktion bzw. Reaktion mit links/Reaktion mit rechts: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der N200 bzw. P300 zwischen den Bedingungen.

3.2.2. Korrelationen von psychometrischen mit elektrophysiologischen Daten

Die N200-Amplitude in Fz für die Inhibitionsbedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen Mühe ($C = 0,621$; $p = 0,023$).

Die N200-Amplituden in Cz für die Go-Bedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen (VAS-)Anstrengung ($C = 0,665$; $p = 0,013$).

3.2.3. Korrelationen von Verhaltens- mit elektrophysiologischen Daten

Es ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen den Verhaltens- und den elektrophysiologischen Daten.

Allerdings konnten folgende Trends registriert werden:

Der Zusammenhang zwischen P300-Amplitude in Cz und der Reaktionszeit bei der Entscheidungs-Bedingung mit Reaktion (Ja-nein-Paradigma) erreichte Trend-Niveau ($C = -0,499$; $p = 0,069$).

Darüberhinaus zeichnete sich ein Trend ab bei dem Zusammenhang zwischen der P300-Amplitude in Cz und der Reaktionszeit bei der Entscheidungs-Bedingung bei dem Ja-nein-Paradigma ab ($C = -0,486$; $p = 0,078$).

4. Diskussion

Ziele der vorliegenden Studie sind die Untersuchung ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) von Verhaltensinhibition und Entscheidungsprozessen, die Überprüfung des Einflusses der Entscheidungsart sowie der Entscheidungsausrichtung auf diese neurophysiologischen Reaktionen sowie die Bestimmung deren Retest-Reliabilität.

4.1. Verhaltensdaten

In dem Rahmen des Ja-nein-Paradigmas unterschieden sich die durchschnittliche Anzahl der Reaktionen weder bei der Volitions-Bedingung noch bei der Go-Bedingung signifikant zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf. Auch die Reaktionszeiten der Bedingungen (Go und Volition) wichen jeweils im Vergleich zwischen erstem und zweitem Durchgang nicht signifikant voneinander ab. Dies spricht für eine gute Retest-Reliabilität des Paradigmas.

Das Verhältnis des Vorkommens der Bedingungen zueinander wurde zwischen den beiden Paradigmen nicht verändert. Ein Einfluss auf die EKP kann als äußerst unwahrscheinlich erachtet werden, da Vorstudien zeigten, dass nicht die Häufigkeit der präsentierten Stimuli insgesamt Einfluss auf die EKP habe sondern das Verhältnis zueinander (Geczy et al., 1999, Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004).

Auch bei dem Re-li-Paradigma unterschieden sich die durchschnittliche Anzahl der Reaktionen weder bei der Volitions-Bedingung noch bei der Go-Bedingung signifikant zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf. Die Reaktionszeiten der Bedingungen Go und Volition wichen jeweils im Vergleich zwischen erstem und zweitem Durchgang signifikant voneinander ab (nachmittags schneller als vormittags). Am ehesten lässt sich dieser Unterschied zu dem Ja-nein-Paradigma durch zwei mögliche Einflussfaktoren erklären: auf der einen Seite könnte die Entscheidung, zwischen links und rechts zu wählen, eine größere Herausforderung dargestellt haben als die Entscheidung, eine Taste mit rechts zu betätigen oder dies zu unterlassen. Dies ist vereinbar mit Ergebnissen, die zeigten, dass der willentliche Aufgabenwechsel (hier Wechsel von Reaktion mit rechts auf Reaktion mit links), mit „Kosten“ verbunden sei (Arrington et al., 2004, Forstmann et al., 2007). Zudem war die Zunahme an Entscheidungsoptionen mit höheren Reaktionszeiten assoziiert (Forstmann et al., 2006). Folgerichtig könnte sich der Übungseffekt eines ersten Durchganges bei der Re-li-Variante in einer schnelleren Reaktionszeit niedergeschlagen haben, obwohl die Aufgaben subjektiv von den Probanden bezüglich der Kriterien Mühe, Anstrengung, Schwierigkeit und Leistung nicht signifikant unterschiedlich eingeschätzt wurden. Auf der anderen Seite könnte der Übungseffekt auch dadurch gesteigert gewesen sein, dass das Re-li-Paradigma 25% mehr Bedingungen aufgewiesen hat als das Ja-nein-Paradigma.

Die Reaktionszeiten zwischen der Volition mit Reaktion links unterschieden sich nicht signifikant von der Volition mit Reaktion rechts. Allerdings zeigten sich sowohl vormittags als auch nachmittags auf Trendniveau schnellere Reaktionen mit rechts als mit links. Dies beruht am ehesten darauf, dass alle Probanden, die an diesem Paradigma teilnahmen, Rechtshänder waren und tendenziell mit der dominanten Hand geringfügig schneller reagiert wird. Dies deckt sich auch mit Ergebnissen und Interpretationen von vorherigen Studien (z.B. Misra et al., 1985).

Die Reaktionszeiten der jeweiligen Bedingungen zwischen den beiden Paradigmen unterschieden sich nicht signifikant.

Signifikant unterschieden sich allerdings konstant über beide Paradigmen und Durchläufe

die Reaktionszeiten zwischen der Go-Bedingung und der Volitions-Bedingung. Der instruierte Tastendruck der Go-Bedingung erfolgte durchschnittlich schneller als die Reaktion in dem Rahmen von intentionalem Verhalten (Volitions-Bedingung). Dies wurde auch in anderen Studien in ähnlicher Weise beobachtet und mit Konflikt sowie dem damit verbundenen kognitiven Mehraufwand bei intentional initiiertem Verhalten in dem Vergleich zu instruierter Reaktion in Verbindung gebracht (Arrington et al., 2004; Forstmann et al., 2006; Karch et al., 2009; Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b).

4.2. N200-Potential

Bei dem Ja-nein-Paradigma war die N200-Amplitude in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz. Bei dem Re-li-Paradigma imponierte die N200-Amplitude in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz und Pz. Insgesamt zeigte sich die N200-Amplitude gemittelt über beide Paradigmen und alle Durchläufe in Fz signifikant ausgeprägter als in Cz sowie Pz. Dies bestätigt die Ergebnisse von Vorstudien, deren zufolge die Ausprägung des N200-Potentials in Relation zu der Kontroll-Bedingung bei der Inhibitions-Bedingung und der Entscheidungs-Bedingung frontal und fronto-zentral signifikant größer sei, frontal die Ausprägung des N200-Potentials bei der Entscheidungs-Bedingung am größten sei (Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b) und Entscheidungen zwischen zwei Alternativen mit fronto-zentral betonter Ausprägung elektrophysiologischer Reaktionen (N200 beziehungsweise P300) assoziiert seien (zum Beispiel: Karch et al., 2009; Näätänen et al., 1986 & 1990; Bekker et al., 2004; Squires et al., 1975 & 1977; Donchin & Coles, 1988; Pritchard et al., 1991). Der Umstand, dass sich bei dem Ja-nein-Paradigma die N200-Amplitude in Fz in dem Vergleich zu Pz nicht signifikant größer darstellte, ist am ehesten der relativ großen Variabilität der elektrophysiologischen Reaktionen geschuldet.

Bei dem Ja-nein-Paradigma war die N200-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung signifikant kleiner. Bei dem Re-li-Paradigma imponierte die N200-Amplitude bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung ebenfalls weniger ausgeprägt. Der Unterschied war aber nicht signifikant ($p = 0,192$).

Insgesamt zeigte sich die N200-Amplitude gemittelt über beide Paradigmen und alle Durchläufe bei der Go-Bedingung gegenüber der Entscheidungsbedingung sowie der Inhibitionsbedingung signifikant weniger ausgeprägt. Möglicherweise hätten eine

geringere Variabilität der evozierten Reaktionen oder eine höhere Proandenzahl bei beiden einzelnen Paradigmen zu signifikanten Unterschieden des N200-Potentials zwischen der Inhibitions-Bedingung und der Go-Bedingung geführt, wie dies letztendlich gemittelt über beide Paradigmen und alle Durchläufe sowohl zwischen der Inhibitions-Bedingung und der Go-Bedingung als auch zwischen der Entscheidungsbedingung und der Go-Bedingung der Fall war.

Das Auftreten eines größeren N200-Potentials bei der Volitions- und der Inhibitionsbedingung im Vergleich zur Go-Bedingung kann unter anderem in folgendem Zusammenhang erklärt werden: Die fronto-zentrale N200-Amplitude wird von Gajewski und Kollegen in dem Jahr 2008 mit dem anterioren cingulären Kortex assoziiert und nicht nur mit Unerwartetem und Konflikt in Verbindung gebracht sondern auch mit einer frühen Stufe in dem Prozess der Reaktionsauswahl, welche Einfluss auf die folgenden Prozessstufen habe. Das N200-Potential wurde im Sinne eines Antwortkonfliktes interpretiert und weniger als Ausdruck von Inhibition (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004, Gajewski et al., 2008; Smith et al., 2010, Karch et al., 2010a). In diesem Sinne könnte auch erklärt werden, warum bei dem Ja-nein-Paradigma bei der Entscheidungsaufgabe die Zunahme der N200-Amplitude gegenüber der Go-Bedingung stärker ausgeprägt war als beim Re-li-Paradigma. Die Wahl, eine motorische Aktion auszuführen oder diese zu inhibieren, mag einen stärkeren Konflikt beinhalten in dem Vergleich zu der Go-Bedingung und damit zu eindeutigeren N200-Potentialen in Abgrenzung zu der Go-Bedingung führen. Die Wahl zwischen zwei motorischen Aktionen (Re-li-Paradigma) ist möglicherweise der Go-Bedingung ähnlicher. Dafür spräche auch, dass das N200-Potential mit dem Unterdrücken falscher Antworttendenzen assoziiert wurde (Falkenstein et al., 1999).

Die N200-Amplituden der Volitions-Bedingungen sind größer als die der Inhibitionsbedingung. Dies stützt die These von Karch und Kollegen, die 2010 diskutierten, dass bei der freiwilligen Inhibition (Volition ohne Reaktion) die selben Areale ausgeprägter aktiviert sind, die in der Literatur mit NoGo-Aufgaben assoziiert wurden und interpretierten dahingehend weiter, dass die Konfliktsituation, in der sich der Proband bei der freien Entscheidung im Vergleich zur instruierten Inhibition von Verhaltenstendenzen befindet, deutlich stärkere Aktivierungen in den selben Hirnregionen auslöst (Karch et al., 2010a).

4.3. P300-Potential

Die P300-Amplitude war sowohl bei beiden Paradigmen getrennt als auch bei allen Durchläufen beider Paradigmen zusammen bei der Go-Bedingung sowohl gegenüber der Inhibitionsbedingung als auch gegenüber der Entscheidungsbedingung signifikant kleiner. Dabei war das P300-Potential bei der NoGo-Bedingung geringfügig größer als bei der Volitions-Bedingung. Der Unterschied war allerdings nicht signifikant. Dies entspricht weitest gehend den Ergebnissen der Studien, die bereits zu ereigniskorrelierten Potentialen in Zusammenhang mit Volition veröffentlicht wurden. Zudem ist es vereinbar mit der Interpretation der P300-Amplitude als Ausdruck von Kontextaktualisierung und Entscheidungsfindung (Donchin & Coles, 1988; Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b) sowie der Inhibition beziehungsweise dem „Löschen“ von zuvor geplanten Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011).

Bei der Untersuchung beider Paradigmen sowohl im Einzelnen als auch gemeinsam inklusive aller Durchläufe war die P300-Amplitude in Cz signifikant höher als in Fz. Zudem unterschieden sich sowohl bei dem Re-li-Paradigma als auch bei der Untersuchung aller Durchläufe beider Paradigmen die P300-Amplituden in Fz signifikant von den ausgeprägteren P300-Amplituden in Pz. Bei dem Ja-nein-Paradigma war dies nicht der Fall. Die höhere Anzahl an zur Analyse zur Verfügung stehenden Segmenten bei dem Re-li-Paradigma in dem Vergleich zu dem Ja-nein-Paradigma kann wegen der Variabilität der evozierten Reaktionen bei der Detektion von signifikanten Unterschieden der P300-Amplitude zwischen Fz und Pz eine Rolle gespielt haben. Für diese Interpretation spricht auch die Tatsache, dass dieser signifikante Unterschied auch bei der Untersuchung aller Durchläufe beider Paradigmen vorhanden war und sich bezüglich der P300-Amplitude und der einzelnen Elektroden zwischen den beiden Paradigmen keine signifikanten Unterschiede ergeben haben. Eine andere Erklärung könnte aber auch sein, dass das P300-Potential in früheren Studien bei der Inhibition im Vergleich zu der Go-Bedingung vor allem fronto-zentral und weniger parietal detektiert wurde. Dieses Phänomen wird auch als P300-NoGo-Anteriorisierung bezeichnet (Fallgatter und Strik, 1999, Burle et al., 2004). Insgesamt wurde bei der NoGo-Bedingung eine eher fronto-zentrale Lokalisation der N200- und P300-Potentiale festgestellt in Abgrenzung zu der Go-Bedingung, bei der die Potentiale ausgeprägter in parietalen Hirnbereichen detektiert wurden (Yong-Liang et al., 2000; Bekker et al., 2004; Lavric et al., 2004; Salisbury et al., 2004, Kamarajan et al., 2005a; Kamarajan et al., 2005b; Smith et al., 2006). Bei dem Re-

li-Paradigma in dem Unterschied zu dem Ja-nein-Paradigma war nicht die intendierte Inhibition, sondern die Wahl zwischen zwei intendierten Aktionen der Volitions-Bedingung immanent. Deshalb könnte dies relativ zu ausgeprägteren P300-Amplituden in Pz geführt haben als dies bei dem Ja-nein-Paradigma der Fall war. Dafür sprechen sowohl die Interpretation der frontalen P300-Amplitude als Korrelat von Inhibition beziehungsweise „Löschen“ von zuvor geplanten Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011) als auch die Sichtweise von Raichle und Kollegen, die 2001 das NoGo-P300-Potential als einen Ausdruck der Inhibition von motorischen Reaktionen interpretierten, was verminderte Aktivierungsmuster bei dem NoGo-P300-Potential in motorischen, prämotorischen, occipitalen, parietalen sowie temporalen Loci mit sich bringe – insbesondere in Abgrenzung zu einem Ruhenetzwerk bei motorischen Aufgaben (Raichle et al., 2001).

Ein weiterer Erklärungsversuch könnte eine prominente parietale P300-Amplitude bei der Go-Bedingung darstellen, die aus vermehrter Aufmerksamkeit der Probanden während des Re-li-Paradigmas in dem Vergleich zu dem Ja-nein-Paradigma resultiert haben könnte (Donchin & Coles, 1988, Polich & Kok, 1995). Diese Erklärung kann in dem Fall dieser Studie allerdings als unwahrscheinlich eingestuft werden, da die Probanden der beiden Paradigmen zumindest subjektiv keine signifikant unterschiedlichen Angaben zu Schwierigkeit, Mühe, Anstrengung und Leistung bei der Bearbeitung beider Paradigmen gemacht haben. Insgesamt stellten sich P300-Potentialmaxima in der vorliegenden Studie eher zentral und parietal gegenüber fronto-zentral dar. In einem adaptierten visuellen Go/NoGo-Paradigma mit Entscheidungskomponente waren die P300-Amplituden ebenfalls zentral und parietal am größten (Kopp et al., 2007). Die P300-Amplitude scheint bei Volitions-Aufgaben in dem Vergleich zu Go-/NoGo-Paradigmen zentraler und parietaler lokalisiert zu sein. Während das fronto-zentrale P300-Potential also am ehesten als Ausdruck der Inhibition beziehungsweise des Löschens von zuvor geplanten Handlungsalternativen interpretiert werden könnte (Randall and Smith 2011), könnten die zentralen und parietalen P300-Amplituden eher mit Kontextaktualisierung und Entscheidungsfindung in Verbindung gebracht werden. Dies ist auch vereinbar mit der Interpretation, dass menschliche willentliche Handlungen durch sich ergänzende Prozesse intentionaler Auswahl und Inhibition zustande kommen (Zhang et al 2012).

Ausgehend von der Argumentationslinie, dass bei der freiwilligen Inhibition (Volition ohne Reaktion) durch Konfliktsituationen die selben Areale deutlich ausgeprägter aktiviert sind, die in der Literatur mit NoGo-Aufgaben (instruierten Inhibition) assoziiert

wurden (Karch et al., 2010a), könnte man spekulieren, dass in Konfliktsituationen zwischen zwei ähnlichen Go-Bedingungen (Volition bei Re-li-Paradigma) die selben eher parietalen Areale (Yong-Liang et al., 2000; Bekker et al., 2004; Lavric et al., 2004; Salisbury et al., 2004, Kamarajan et al., 2005a; Kamarajan et al., 2005b; Smith et al., 2006) ausgeprägter aktiviert sind, die in der Literatur mit Go-Aufgaben (instruierte Aktion) assoziiert wurden. Dies stimmt mit der Bewertung überein, dass das N200-Potential mit dem Konflikt der Auswahl zwischen verschiedenen Programmen assoziiert ist und das P300-Potential mit Kontextaktualisierung und der Inhibition beziehungsweise dem Löschen konkurrierender Programme. Dafür sprechen auch die Ergebnisse von Smith und Kollegen, die die P300-Amplitude mit der Inhibition und dem Löschen von geplanter Antworten in Verbindung bringt (Smith et al., 2011). Die Lokalisation der relativen P300-Potential-Maxima wäre in diesem Fall vermutlich abhängig von Arealen, die mit der Entscheidungsart (hier: ja/nein beziehungsweise rechts/links) assoziiert sind.

4.4. Retest-Reliabilität

Weder für das N200-Potential noch für das P300-Potential ergaben sich signifikante Innersubjekteffekte für die Tageszeit. Die Höhe der N200-Amplituden für Volition korrelierte hoch signifikant zwischen den beiden unterschiedlichen Tageszeiten (Fz: $KK = 0,773$; $p > 0,01$; Cz: $KK = 0,795$; $p > 0,01$). Auch die Korrelationen der P300-Amplituden für Volition zwischen den beiden unterschiedlichen Tageszeiten korrelierten hoch signifikant (Fz: $KK = 0,864$; $p > 0,01$; Cz: $KK = 0,895$; $p > 0,01$). Dies spricht für eine hohe Retest-Reliabilität der elektrophysiologischen Parameter, N200- und P300-Potential, in den in dieser Studie untersuchten Paradigmen. Eine hohe Retest-Reliabilität für elektrophysiologische Parameter wurde bereits in anderen Studien gefunden: Go/NoGo- und Go/NoGo-Anterosierung-P300-Retest-Reliabilität (Fallgatter et al., 2001a; Fallgatter, 2001b), auditive Oddball-Paradigmen- und Arbeitsgedächtnis-Paradigmen-4-Wochen-Retest-Reliabilität für N200 beziehungsweise P300 (Williams et al., 2005), auditive Oddball-Paradigma-N100- beziehungsweise auditive Oddball-Paradigma-P300-Retest-Reliabilität (Simons et al., 2011), auditive Oddball-Paradigmen-1-Jahres-N100-/P200-/P300-Retest-Reliabilität (Walhovd et al., 2002), auditive Oddball-Paradigmen-1-Wochen/-1-Monats-Retest-Reliabilität für N100, N200 und P300: P300-Habituation und -Rehabitation (Kinoshita et al., 1996), auditive Oddball-

Paradigmen-P300-Retest-Reliabilität: 8 Wiederholungen innerhalb 10 Tagen (Kinoshita et al., 1995), auditive Oddball-Paradigmen-P300-1-Jahres-Retest-Reliabilität (Segalowitz et al., 1993) sowie Langzeit-Retest-Reliabilität der P300 bei visuellem Go/NoGo-Paradigma (Brunner et al., 2013). Insgesamt zeigte sich eine gute Retest-Reliabilität für EKP - insbesondere für P300-Potentiale. Die meisten der bisherigen Studien zu Retest-Reliabilität bei EKP beziehen sich auf auditive Oddball-Paradigmen. Diese Studie ist die erste, die Retest-Reliabilität bei einem adaptierten Go/NoGo-Paradigma mit Volitions-Bedingungen untersucht. Gewöhnungseffekte, die bisher vor allem in dem Zusammenhang mit dem N200-Potential, aber auch mit dem P300-Potential beschrieben wurden, waren eher auf Modulierung der Frequenz der auslösenden Stimuli zurückzuführen als auf Lern- oder Gewöhnungseffekte in dem Sinne von Auswirkungen auf EKP bei Wiederholung von der Durchführung ganzer Paradigmen (Squires et al., 1975; Friedman et al., 2001; Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004; Gajewski et al., 2008; Smith et al., 2010; <http://www.neurolabor.de/ereigniskorreliert.pdf>). Diese Art der Habituation ist allerdings in diesem Zusammenhang eher auf Veränderungen des Kurzzeitgedächtnisses zurückzuführen. Die bereits zitierte Studie von Brunner und Kollegen spricht auch für eine hohe Wahrscheinlichkeit von guter Langzeit-Retest-Reliabilität (über Zeitspannen von Wochen und Monaten) der in dieser Studie untersuchten Paradigmen (Brunner et al., 2013). Dies könnte Gegenstand von Betrachtungen in Folgestudien sein.

4.5. Vergleich beider Paradigmen – Entscheidungsart

Bei dem Vergleich der Paradigmen „Re-li“ und „Ja-nein“ zeigten sich in keinem der untersuchten Kriterien signifikante Unterschiede für die N200 und P300. Dies spricht dafür, dass die Entscheidungsart, zu reagieren oder nicht zu reagieren beziehungsweise mit links oder rechts zu reagieren, keinen signifikanten Einfluss auf die ereigniskorrelierten Potentiale hat. Dies weicht teilweise von Untersuchungsergebnissen ab, die sich mit dem Unterschied von motorischen und nicht motorischen Entscheidungen beziehungsweise der Entscheidung, zwischen rechts und links zu wählen, beschäftigt haben, die bereits in den Kapiteln 1.1.1.5 und 1.1.1.6 genauer beschrieben wurden (unterschiedliche neurophysiologische Korrelate zwischen Konflikt- und Entscheidungsparadigmen): zum Beispiel waren unterschiedliche Areale innerhalb des

prä-supplementär-motorischen Kortexes aktiv (Nachev et al., 2005). Zudem wurden stärkere Aktivierungen auf der kontralateralen Hemisphäre zu der gewählten Hand, bei der Entscheidung links oder rechts zu reagieren, festgestellt. Die Anzahl der Probanden betrug allerdings nur drei (Fried et al., 2011).

Das No-Go-P300-Potential wurde von einigen Autoren eher als ein Ausdruck der Inhibition von motorischen Reaktionen und nicht als Ausdruck von Inhibition kognitiver Reaktionen interpretiert (Nachev et al., 2005). Die Inhibition einer motorischen Reaktion kann bei dem Re-li-Paradigma in dem Vergleich zu dem Ja-nein-Paradigma zudem als seltener vorkommendes Ereignis gesehen werden, wenn man berücksichtigt, dass bei dem Ja-nein-Paradigma intendierte Inhibitionen von motorischen Reaktionen vorkommen, die bei dem Re-li-Paradigma aber fehlen. In einem Review fassten Friedmann und Kollegen 2001 Beobachtungen zusammen und stellten den Zusammenhang dar, dass die Amplitude der P300 kleiner wird, je öfter seltene auslösende Stimuli präsentiert werden (Friedman et al., 2001). In dem Umkehrschluss könnten P300-Amplituden umso ausgeprägter imponieren je seltener die mit ihr assoziierte Aktion vorkommt - in diesem Falle Inhibition einer motorischen Aktion. All dies konnte bei den in dieser Studie untersuchten Paradigmen nicht beobachtet werden.

Die Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Neuronen-Verbänden, die für affektiv aufgeladene Entscheidungen zuständig seien und denen, die für weniger emotionale Entscheidungen zuständig seien, war bei dem Vergleich der beiden Paradigmen ebenso nicht von Bedeutung (Krain et al. 2006), unter anderem auch da sich die Probandenkollektive der beiden untersuchten Paradigmen in keinem der erfassten Kriterien (unter anderem: Angst, Ärger allgemein, Ärger aktuell, Depressivität, Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit) signifikant unterschieden. Darüber hinaus machten die Probanden der beiden Paradigmen zumindest subjektiv keine signifikant unterschiedlichen Angaben zu Schwierigkeit, Mühe, Anstrengung und Leistung bei der Bearbeitung beider Paradigmen.

Es bleibt festzuhalten, dass die EKP der Entscheidungen zwischen zwei Handlungsalternativen („Re-li-Paradigma“) und ob motorisch reagiert wird oder nicht („Ja-nein-Paradigma“) sich in dieser Studie nicht signifikant unterscheiden. Dieses Ergebnis ist vereinbar mit anderen Studien: zum Beispiel mit einer fMRT-Studie, in deren Rahmen es sowohl bei intendierter Ausführung als auch bei intendierter Unterlassung der Ausführung derselben Handlung zu nahezu identischen Reaktionen im rostralen Cingulum und dorsolateralen präfrontalen Kortex kam (Kühn et al. 2009).

4.6. Entscheidungsausrichtung – Vergleich links versus rechts

Bei dem Re-li-Paradigma ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der ereigniskorrelierten Potentiale (N200 und P300) zwischen der Entscheidung rechts oder links zu reagieren. Die Entscheidung, mit welcher Hand die Aktion ausgeführt werden soll, war in einer Untersuchung von Fried und Kollegen in dem Jahr 2011 mit Aktivierungen auf der kontralateralen Hemisphäre zu der Hand, für die sich der Proband entschieden hatte, verbunden (Fried et al., 2011). Es kann nicht abschließend beurteilt werden, ob diese Aktivierungen auf der kontralateralen Hemisphäre zu der ausführenden Hand des Probanden in dem von dieser Studie untersuchten Zeitfenster liegt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass es sich dabei um Korrelate von motorischen Aktionen handelt, die später als die Potentiale N200 und P300 auftreten und somit in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden. Für die Lokalisation und Ausprägung der Potentiale (N200 und P300) scheint die Ausrichtung der Entscheidung, in diesem Falle links oder rechts zu agieren, keine signifikante Rolle zu spielen.

4.7. Einfluss psychometrischer und demographischer Daten

Polich und Kollegen konstatierten, dass insbesondere bei der P300-Amplitude eine interindividuelle Variabilität bestehe, die von verschiedenen Faktoren wie Geschlecht, Tages- bzw. Jahreszeit, Persönlichkeit und Aufgabenfaktoren abhängig sei (Polich, 1991). Kügler und Kollegen stellten fest, dass sich trotz standardisierten Messvorgangs diese Variabilität nur schwer kontrollieren oder gar präzise quantifizieren ließe. Hierzu fehlten noch Standards zu adäquaten aber simplen Paradigmen oder gar normative Datenbanken mit entsprechenden Daten (Kügler et al., 1993). In der vorliegenden Studie erreichte der Zusammenhang zwischen P300-Amplitude in Cz und der Reaktionszeit bei der Volitions-Bedingung mit Reaktion (Ja-nein-Paradigma) Trend-Niveau. Kida und Kollegen erklärten höhere P300-Amplituden in dem Rahmen eines Go-/NoGo-Paradigmas mit größerer Allokation der Aufmerksamkeit auf Kontextaktualisierung (Kida et al., 2003). Bei der Untersuchung eines weiteren Go-/NoGo-Paradigmas ergaben sich bei schnelleren Reaktionen bei der Go-Bedingung, höhere P300-Amplituden bei der NoGo-Bedingung (Nakata et al., 2012). Dies kann als Hinweis interpretiert werden, dass größere Allokation

von Aufmerksamkeit auf Kontextaktualisierung und damit verbundene schnellere Reaktionszeiten unabhängig von der Bedingung (Go oder NoGo) mit höheren P300-Amplituden verbunden sein könnten. Der Trend der Korrelation zwischen Höhe der P300-Amplitude in Cz und der Reaktionszeit bei der Volition kann also am ehesten mit vergleichsweise höherer Aufmerksamkeit und dem damit verbundenen höheren Aufwand bei der Kontextaktualisierung erklärt werden. Der N200-Amplituden-Wert in Fz für die Inhibitionsbedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen Mühe und der N200-Amplituden-Wert in Cz für die Go-Bedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen Anstrengung. Dieser positive Zusammenhang zwischen der Mühe beziehungsweise Anstrengung bei der Bearbeitung der Aufgabe und der Ausprägung der evozierten Potentiale ist bereits in anderen Studien beschrieben worden (Mulert et al., 2005, Gordon et al., 2005). Abgesehen davon zeigte sich kein bedeutsamer Einfluss von Stichprobenparametern auf elektrophysiologische Korrelate. Ein Grund dafür dürfte die hohe Homogenität der untersuchten Stichprobe sein. Insgesamt ist festzuhalten, dass es zwischen den beiden Probanden-Kollektiven bei keinem der erfassten demographischen und psychometrischen Parameter zu signifikanten Unterschieden gekommen ist.

4.8. Konzept intentionales Verhalten

Insgesamt könnte intentionales Verhalten nach der Zusammenschau der aktuellen Studienlage, der Einordnung der Ergebnisse und dem daraus resultierenden Verständnis dieser Studie wie folgt beschrieben werden: Planung und der Ablauf einmal erlernter Handlungen sowie deren Abrufung sind als „Programm“ abgespeichert und somit aus energetischer Perspektive als effizient anzusehen (Birbaumer et al., 2006). Zunächst wird ein Stimulus detektiert, gespeichert sowie analysiert (Enkodierung). Danach wird überprüft, ob und welche Antwortmuster in Verbindung mit diesem Stimulus bereitstehen. Je unbekannter und damit unerwarteter der Reiz ist, desto mehr „Konflikt“ entsteht konsequenterweise bei der Beantwortung des Reizes (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004; Gajewski et al., 2008; Smith et al., 2010). Daraufhin kommt es, wenn nötig, zur Korrektur beziehungsweise Adaption bestehender Antwortmodelle an die aktuelle Situation (Kontextaktualisierung und Arbeitsgedächtnisaktualisierungen) sowie zu der Inhibition anderer Antwortoptionen. Je komplexer die Aufgabenstellung ist, desto mehr

Aufwand und Zeit nimmt die Arbeitsgedächtnisaktualisierung in Anspruch, was sich unter anderem in längeren Latenzen und ausgeprägteren Amplituden der ereigniskorrelierten Potentiale widerspiegeln kann (Magliero et al., 1984; Donchin und Coles, 1988; Kida et al., 2003; Gajewski et al., 2008; Nakata et al., 2012). Die Annahme, dass für unterschiedlichen Arten von Entscheidungen unterschiedliche Neuronen-Verbände aktiv sind, wird unter anderem durch folgende Arbeiten bestärkt: Trevena et al., 2002, Lau et al., 2004, Soon et al., 2008, Brass & Haggard 2008 und Fried et al., 2011. Bei der neurophysiologischen Untersuchung der Willensbildung soll laut Brass & Haggard mindestens unterschieden werden, welche Handlungsalternativen zur Auswahl stehen sowie wann und ob eine Entscheidung getroffen wird (Brass & Haggard, 2008). Neurophysiologisch wurden darüberhinaus zum Beispiel Unterschiede detektiert, ob primär motorische Antwortmodelle oder primär kognitive Antwortmodelle abgerufen beziehungsweise inhibiert werden (Raichle et al., 2001; Nachev et al., 2005). Zudem habe auch die Frage, ob Entscheidungen dynamisch unter Berücksichtigung einer Zeitkomponente zustande kommen oder ob sie auf Abwägung ohne Zeitkomponente beruhen, Einfluss auf die neurophysiologischen Korrelate (Zhang X. und Hirsch J., 2013). Auch der Umstand ob eine Entscheidung emotional besetzt sei oder rein rational abgewogen werde, habe Einfluss auf neurophysiologische Korrelate (Krain et al. 2006).

Die Entscheidungsarten und die Entscheidungsausrichtungen, die in dieser Studie untersucht wurden, unterschieden sich nicht signifikant in ihren evozierten Potentialen. Dies ist vereinbar mit drei Studien von Karch und Kollegen, in denen keine signifikanten Unterschiede zwischen der aktiven Entscheidung, eine Aktion durchzuführen oder diese Durchführung bewusst zu unterlassen, gefunden wurden (Karch et al., 2009; Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b). Dies bestätigt ebenfalls eine fMRT-Studie, bei der es sowohl bei intendierter Ausführung als auch bei intendierter Unterlassung der Ausführung derselben Handlung zu nahezu identischen Reaktionen im rostralen Cingulum und dorsolateralen präfrontalen Kortex kam (Kühn et al. 2009).

Einfluss auf dieses neurophysiologische Ablaufmodell haben zudem beispielsweise Faktoren wie Alter (Juckel et al., 2012; Polich 1996; Friedman et al., 1997; Gilmore, 1995; Iragui et al., 1993 Yamaguchi et al., 1991; Friedman et al., 1994; Kutas et al., 1994), Geschlecht (Picton et al., 1984; Deldin et al., 1994 ; Hegerl et al., 1985 ; Popescu A., 2005) und Mühe (Mulert et al., 2005, Gordon et al., 2005). Zudem haben unter anderem folgende psychische Krankheiten Einfluss auf intentionales Verhalten und damit

auch auf deren resultierende neurophysiologische Korrelate: Schizophrenie (Mori K. et al., 2012; Zhao et al., 2011), Zwangserkrankungen (Popescu A., 2005; Endrass et al., 2013), Demenz (Parra et al., 2012; Pedroso et al., 2012), ADHS (Meier et al., 2012; Roca et al., 2013) und Alkoholabhängigkeit (Kamarajan et al.; 2005; Fein et al., 2011).

4.9. Schlussfolgerungen

Menschliche willentliche Handlungen kommen unter anderem durch sich ergänzende Prozesse intentionaler Auswahl und Inhibition zustande (Zhang et al 2012). Das N200-Potential wurde mit dem anterioren cingulären Kortex assoziiert und nicht nur mit Unerwartetem und Konflikt in Verbindung gebracht sondern auch mit einer frühen Stufe in dem Prozess der Reaktionsauswahl, welche Einfluss auf die folgenden Prozessstufen habe (Gajewski et al., 2008). Je unbekannter und damit unerwarteter der auslösende Reiz für die N200-Amplitude ist, desto mehr Konflikt entsteht konsequenterweise während des Prozesses der Reaktion. Dies führt zu dementsprechend ausgeprägteren evozierten Potentialen (Geczy et al., 1999). Die Ergebnisse dieser Studie stützen sowohl die Interpretation der frontalen P300-Amplitude als Korrelat von Inhibition beziehungsweise des „Löschen“ von zuvor geplanten Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011) als auch die Interpretation der zentralen und parietalen P300-Amplituden als Korrelat von Kontextaktualisierung und Entscheidungsfindung. Bei der freiwilligen Inhibition (Volition ohne Reaktion) seien dieselben Areale deutlich ausgeprägter aktiviert, die in der Literatur mit NoGo–Aufgaben (instruierten Inhibition) assoziiert wurden (Karch et al., 2010a). Unter Berücksichtigung dieser Interpretation lassen die Ergebnisse dieser Studie die Spekulation zu, dass in Konfliktsituationen zwischen zwei ähnlichen Go-Bedingungen (Volition bei Re-li-Paradigma) die selben, eher parietalen Areale (Yong-Liang et al., 2000; Bekker et al., 2004; Lavric et al., 2004; Salisbury et al., 2004, Kamarajan et al., 2005a; Kamarajan et al., 2005b; Smith et al., 2006), ausgeprägter aktiviert sein könnten, die in der Literatur mit Go–Aufgaben (instruierte Aktion) assoziiert wurden.

Die Retestrelabilität der untersuchten Ereigniskorrelierten Potentiale (N200 und P300), die in dem Zusammenhang mit den in dieser Studie beschriebenen Paradigmen erfasst wurden, war signifikant hoch. Langzeit-Retest-Reliabilität dieser Paradigmen könnte

Gegenstand von Betrachtungen in Folgestudien sein. Zudem unterschieden sich weder Entscheidungsart noch Entscheidungsausrichtung in ihren elektrophysiologischen Korrelaten signifikant. Dies eröffnet die Perspektive, diese Paradigmen in Zukunft, als ökonomisch günstige Methode, zur Messung elektrophysiologischer Reaktionen bei psychiatrischen Patienten sowie zur Verlaufsbeurteilung einsetzen zu können.

5. Zusammenfassung

Patienten mit psychischen Störungen weisen häufig Einschränkungen der kognitiven Leistungsfähigkeit auf, die insbesondere exekutive Funktionen betreffen. Die neuronale Grundlage dieser kognitiven Defizite lässt sich neurophysiologisch mit ereigniskorrelierten Potentialen untersuchen. Die Etablierung eines standardisierten Paradigmas zur Darstellung der Norm entsprechender ereigniskorrelierten Potentiale in dem Zusammenhang mit exekutiven Funktionen erscheint sinnvoll, da dies Grundlage dafür sein könnte, Abweichungen in dem Rahmen von Erkrankungen neurophysiologisch, mit der ökonomisch effizienten Methode Elektroencephalographie (EEG), objektivieren und im Verlauf beurteilen zu können.

In der vorliegenden Studie werden Verhaltenskontrollprozesse untersucht. Bekannt ist, dass diese vor allem mit späten evozierten endogenen Potentialen, wie N200 oder P300, in Zusammenhang stehen. Diese beiden Potentiale wurden in der Vergangenheit unter anderem in Verbindung mit inhibitorischen Prozessen untersucht (Go-/NoGo-Paradigmen). Das Augenmerk dieser Studie liegt auf der Volition, einem Aspekt der exekutiven Funktionen. Die bisherige neurophysiologische Forschung zu Volition beruhte vorwiegend auf fMRT-Untersuchungen. Die aktuelle Studienlage deutet darauf hin, dass sich zunächst kein einheitliches, ganzheitliches Volitions-Konzept durchsetzen wird, sondern der Fokus zunehmend auf den einzelnen Komponenten von Entscheidungsprozessen liegen wird.

Ziele der vorliegenden Studie sind die Untersuchung elektrophysiologischer Korrelate von Verhaltensinhibition und Entscheidungsprozessen, die Überprüfung des Einflusses der Entscheidungsart (rechts/links oder ja/nein) sowie Entscheidungsausrichtung (Tastendruck links oder rechts/ Volition mit oder ohne Reaktion) auf diese elektrophysiologischen Korrelate und die Bestimmung der Retest-Reliabilität bei Gesunden. Bekannte Einflussfaktoren auf ereigniskorrelierten Potentiale wie Alter, Geschlecht und psychiatrische Erkrankungen wurden bewusst gemieden.

Es nahmen siebenundzwanzig gesunde, männliche Probanden zwischen zwanzig und fünfunddreißig Jahren an zwei Varianten eines adaptierten auditorischen Go-/NoGo-Paradigmen teil, bei dem den Probanden zusätzlich Entscheidungsbedingungen präsentiert wurden:

Bei der Go-Bedingung wurden die Probanden aufgefordert, nach einem akustischen Stimulus so schnell wie möglich die rechte Reaktionstaste zu betätigen. Bei der NoGo-Bedingung sollten die Probanden nicht reagieren (Inhibition), während sie bei der Volitions-Bedingung bei der ersten Variante über Reaktion/Nicht-Reaktion (Ja-nein-Paradigma) frei entscheiden konnten. In der zweiten Variante des Experiments konnten die Probanden bei der Volitions-Bedingung frei wählen, ob sie die rechte oder linke Taste drücken (Re-li-Paradigma). In beiden Varianten des Experiments wurden die drei Bedingungen in pseudorandomisierter Reihenfolge präsentiert. Jede Variante des Experiments wurde zur Untersuchung der Retest-Reliabilität zweimal durchgeführt.

Die evozierten Potentiale wurden mit Hilfe eines 32-Kanal-EEG (31 EEG-Kanäle, ein EOG-Kanal) aufgezeichnet und mit der VisionAnalyzer Software (BrainProducts, München) analysiert. Während der Experimente wurden zudem Verhaltensdaten aufgezeichnet. Vor und nach den Experimenten wurden darüberhinaus psychometrische Aspekte mit Fragebögen erfasst.

Der instruierte Tastendruck der Go-Bedingung erfolgte durchschnittlich signifikant schneller als der Tastendruck, der in dem Rahmen von intentionalem Verhalten (Volitions-Bedingung) ausgeführt wurde. Dies wurde auch in anderen Studien in ähnlicher Weise beobachtet und mit Konflikt sowie dem damit verbundenen kognitiven Mehraufwand bei intentional initiiertem Verhalten in dem Vergleich zu instruierter Reaktion in Verbindung gebracht. Bis auf Reaktionszeiten der Bedingungen Go und Volition bei dem Re-li-Paradigma, die jeweils im Vergleich zwischen erstem und zweitem Durchgang signifikant voneinander abwichen (nachmittags schneller als vormittags), unterschieden sich weder zwischen den beiden Varianten noch zwischen den jeweiligen Durchläufen der beiden Varianten die relative Anzahl an Reaktionen beziehungsweise Reaktionszeiten signifikant. Dies spricht nicht nur für eine gute Vergleichbarkeit der elektrophysiologischen Korrelate sondern ist auch als ein Schritt auf dem Weg der Validierung der Retest-Reliabilität der Paradigmen zu interpretieren. Auf Trendniveau zeigten die Probanden bei der Entscheidung, links oder rechts zu drücken, schnellere Reaktionen mit rechts als mit links. Dies könnte zum einen darauf zurückzuführen sein, dass an diesem Paradigma ausschließlich Rechtshänder teilnahmen und zum anderen darauf, dass auch bei der Go-Bedingung dieselbe Reaktion mit rechts ausgeführt werden

sollte und somit die Entscheidung rechts zu drücken durchschnittlich geringfügig schneller fiel.

Die Ausprägung des N200-Potentials in Relation zur Kontroll-Bedingung war bei der Inhibitions-Bedingung und der Entscheidungs-Bedingung frontal und fronto-zentral signifikant größer. Frontal war die Ausprägung des N200-Potentials bei der Entscheidungs-Bedingung am größten. Dies ist vereinbar mit anderen Studien (Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b). Das N200-Potential wurde mit dem anterioren cingulären Kortex assoziiert und nicht nur mit Unerwartetem und Konflikt in Verbindung gebracht sondern auch mit einer frühen Stufe in dem Prozess der Reaktionsauswahl, welche Einfluss auf die folgenden Prozessstufen habe. Das N200-Potential wurde eher in dem Sinne eines Antwortkonfliktes interpretiert und weniger als Ausdruck von Inhibition (Nieuwenhuis et al., 2003; Donkers et al., 2004, Gajewski et al., 2008; Smith et al., 2010, Karch et al., 2010a). Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen diese Interpretation des N200-Potentials. Je unbekannter und damit unerwarteter der auslösende Reiz ist, desto mehr Konflikt entsteht konsequenterweise während des Prozesses der Reaktion. Dies führt zu dementsprechend ausgeprägteren evozierten Potentialen.

Die P300-Amplitude war sowohl bei beiden Paradigmen als auch bei allen Durchläufen beider Paradigmen zusammen bei der Go-Bedingung gegenüber der Inhibitionsbedingung wie auch gegenüber der Entscheidungsbedingung signifikant kleiner. Dabei war das P300-Potential bei der NoGo-Bedingung durchschnittlich geringfügig größer als bei der Volitions-Bedingung. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Dies entspricht weitest gehend den Ergebnissen der Studien, die bereits zu ereigniskorrelierten Potentialen in Zusammenhang mit Volition veröffentlicht wurden. Zudem ist es vereinbar mit der Interpretation der P300-Amplitude als Ausdruck von Kontextaktualisierung und Entscheidungsfindung (Donchin & Coles, 1988; Karch et al., 2009, Karch et al., 2010a, Karch et al., 2010b) sowie der Inhibition beziehungsweise dem „Löschen“ von Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011).

Bei dem Vergleich der Paradigmen „Re-li“ und „Ja-nein“ zeigten sich in keinem der untersuchten Kriterien signifikante Unterschiede - insbesondere nicht für die ereigniskorrelierten Potentiale N200 und P300. Dies spricht dafür, dass die Entscheidungsart, zu reagieren oder nicht zu reagieren beziehungsweise mit links oder rechts zu reagieren, keinen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung der untersuchten ereigniskorrelierten Potentiale hat. Dies weicht bei uneinheitlicher Studienlage teilweise von

Untersuchungsergebnissen, die sich mit dem Unterschied von motorischen und nicht motorischen Entscheidungen beziehungsweise der Entscheidung, zwischen rechts und links zu wählen, ab (Nachev et al., 2005; Fried et al., 2011).

Bei der Untersuchung beider Paradigmen sowohl im Einzelnen als auch gemeinsam inklusive aller Durchläufe war die P300-Amplitude in Cz signifikant höher als in Fz. Zudem unterschieden sich sowohl bei dem Re-li-Paradigma als auch bei der Untersuchung aller Durchläufe beider Paradigmen die P300-Amplituden in Fz signifikant von den ausgeprägteren P300-Amplituden in Pz. Bei dem Ja-nein-Paradigma war dies nicht der Fall. Dies könnte in Zusammenhang mit der Variabilität der evozierten Reaktionen oder der Aufmerksamkeit der Probanden stehen. Am ehesten ist dies allerdings damit zu erklären, dass bei dem Re-li-Paradigma, in dem Unterschied zu dem Ja-nein-Paradigma, nicht die intendierte Inhibition, sondern die Wahl zwischen zwei intendierten Aktionen der Volitions-Bedingung immanent ist. Dies könnte relativ zu ausgeprägteren P300-Amplituden in Pz geführt haben als dies bei dem Ja-nein-Paradigma der Fall war auf Grund des Phänomens der „P300-NoGo-Anteriorisierung“ (Fallgatter und Strik, 1999, Burle et al., 2004): das P300-Potential wurde bei der Inhibition im Vergleich zu der Go-Bedingung vor allem fronto-zentral und weniger parietal detektiert.

Der Hinweis, dass bei der freiwilligen Inhibition (Volition ohne Reaktion) durch Konfliktsituationen die selben Areale deutlich ausgeprägter aktiviert sind, die in der Literatur mit NoGo–Aufgaben (instruierten Inhibition) assoziiert wurden (Karch et al., 2010a), lässt folgende Spekulation zu: In Konfliktsituationen zwischen zwei ähnlichen Go-Bedingungen (Volition bei Re-li-Paradigma) könnten die selben, eher parietalen Areale (Yong-Liang et al., 2000; Bekker et al., 2004; Lavric et al., 2004; Salisbury et al., 2004, Kamarajan et al., 2005a; Kamarajan et al., 2005b; Smith et al., 2006), ausgeprägter aktiviert sein, die in der Literatur mit Go–Aufgaben (instruierte Aktion) assoziiert wurden. Dies ist auch vereinbar mit der Interpretation, dass menschliche willentliche Handlungen durch sich ergänzende Prozesse intentionaler Auswahl und Inhibition zustande kommen (Zhang et al 2012). Dafür sprechen sowohl die Interpretation der frontalen P300-Amplitude als Korrelat von Inhibition beziehungsweise „Löschen“ von zuvor geplanten Handlungsalternativen (Randall and Smith 2011) als auch die Interpretation, Kontextaktualisierung und Entscheidungsfindung eher mit zentralen und parietalen P300-Amplituden in Verbindung zu bringen.

Bei dem Re-li-Paradigma ergaben sich in dem Rahmen der Volitions-Bedingung keine signifikanten Unterschiede bezüglich der ereigniskorrelierten Potentiale, N200 und P300,

zwischen der Entscheidung rechts oder links zu reagieren. Dies spricht dafür, dass bei beiden untersuchten Paradigmen ähnliche neuronale Prozesse ablaufen insbesondere in dem Hinblick auf unterschiedliche Entscheidungsarten beziehungsweise Entscheidungsausrichtungen.

Der N200-Amplituden-Wert in Fz für die Inhibitionsbedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen Mühe und der N200-Amplituden-Wert in Cz für die Go-Bedingung korreliert signifikant positiv mit der von den Probanden angegebenen Anstrengung. Dieser positive Zusammenhang zwischen der Mühe beziehungsweise Anstrengung bei der Bearbeitung der Aufgabe und der Ausprägung der evozierten Potentiale ist bereits in anderen Studien vorbeschrieben (Mulert et al., 2005, Gordon et al., 2005).

Weder für das N200-Potential noch für das P300-Potential ergaben sich signifikante Unterschiede für die jeweils zwei Durchläufe der beiden Paradigmen. Die Höhe sowohl der N200- als auch der P300-Amplituden korrelierten jeweils hoch signifikant zwischen den beiden unterschiedlichen Tageszeiten ($p > 0,01$). Dies spricht für eine hohe Retest-Reliabilität der elektrophysiologischen Parameter in den in dieser Studie untersuchten Paradigmen und ist vereinbar mit früheren Studien (Fallgatter et al., 2001; Williams et al., 2005; Simons et al., 2011). Diese Studie ist die erste, die Retest-Reliabilität bei einem adaptierten Go/NoGo-Paradigma mit Volitions-Bedingungen untersucht hat. Langzeit-Retest-Reliabilität dieser Paradigmen könnte Gegenstand von Betrachtungen in Folgestudien sein.

Die Retestreliabilität der EKP (N200 und P300), die in dem Zusammenhang mit den in dieser Studie beschriebenen Paradigmen erfasst wurden, war hoch. Zudem unterschieden sich weder Entscheidungsart noch Entscheidungsausrichtung in ihren elektrophysiologischen Korrelaten signifikant. Dies eröffnet die Perspektive diese Paradigmen in Zukunft zur Messung elektrophysiologischer Reaktionen bei psychiatrischen Patienten sowie zur Verlaufsbeurteilung einsetzen zu können. Dass dies realistisch ist, zeigt zum Beispiel die Verwendung eines anderen Paradigmas bei einer Kollektivuntersuchung von Kindern mit ADHS unter einjähriger Behandlung mit Atomoxetin oder Methylphenidat (Roca et al., 2013).

Ein nächster Schritt könnte die Anwendung eines solchen Paradigmas bei therapeutischen Interventionen sein. N200- und P300-Potentiale wurden bei QEEG-informiertem Neurofeedback sowohl als Bio- als auch als Verlaufsmarker in dem Rahmen eines therapeutischen Ansatzes im Sinne von Neurofeedback - hier bei ADHS – erprobt (Arns et al., 2012).

6. Literaturverzeichnis

Altenmüller E., 2005:	Altenmüller E: „Ereigniskorrelierte Potentiale“ In: “Evozierte Potenziale”, Stöhr M, Dichgans J, Buettner UW, Hess CW. Springer Medizin Verlag Heidelberg. 2005.
Anjana et al., 2010	Anjana Y, Khaliq F, Vaney N: „Event-related potentials study in attention deficit hyperactivity disorder.“ Funct Neurol. 2010 Apr-Jun;25(2):87-92.
Arns et al., 2012	Arns M, Drinkenburg W, Leon Kenemans J.: „The effects of QEEG-informed neurofeedback in ADHD: an open-label pilot study.“ Appl Psychophysiol Biofeedback. 2012 Sep;37(3):171-80. doi: 10.1007/s10484-012-9191-4.
Arrington et al., 2004	Arrington CM, Logan GD: „The cost of a voluntary task switch“ Psychological Science : A Journal of the American Psychological Society / APS, 2004. 15(9):610-5.
Badgaiyan R., 2000	Rajendra D. Badgaiyan: „Executive Control, Willed Actions, and Nonconscious Processing“ Hum. Brain Mapping 9:38–41, 2000
Beck et al., 1961	Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J: „An inventory for measuring depression“ Archives of General Psychiatry, 1961. 4:561-571.
Bekker E. M. et al, 2004	Bekker E. M., Kenemans J. L., Verbaten M. N. (2004): „Electrophysiological correlates of attention, inhibition, sensitivity and bias in a continuous performance task;“ Clin Neurophysiol. 2004 Sep; 115(9):2001-13

Birbaumer et al., 2006	Birbaumer N., Schmidt R. F.: „Biologische Psychologie“; Springer-Verlag Berlin 2006
Bokura et al., 2001	Hirokazu Bokura, Shuhei Yamaguchi, Shotai Kobayashi: „Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task“; Clinical Neurophysiology: Volume 112, Issue 12, December 2001, Pages 2224–2232
Brass & Haggard, 2007	Marcel Brass and Patrick Haggard: „To do or not to do: the neural signature of self-control.“ J Neurosci. 2007 Aug 22;27(34):9141-5.
Brass & Haggard, 2008	Marcel Brass and Patrick Haggard: „The What, When, Whether Model of Intentional Action,“ Neuroscientist 2008 14: 319 DOI: 10.1177/1073858408317417
Brockhaus, Lexikonredaktion, 2009	Brockhaus Psychologie, 2. Überarbeitete Auflage, Mannheim 2009
Brunner et al., 2013	Brunner JF, Hansen TI, Olsen A, Skandsen T, Håberg A, Kropotov J.: „Long-term test-retest reliability of the P3 NoGo wave and two independent components decomposed from the P3 NoGo wave in a visual Go/NoGo task.“ Int J Psychophysiol. 2013 Jul;89(1):106-14. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.06.005. Epub 2013 Jun 12.
Burle et al., 2004	Burle B, Vidal F, Bonnet M (2004): „Electroencephalographic nogo potentials in a no- movement context: the case of motor imagery in humans.“ Neurosci Lett 360:77-80.
Clark-Carter, 2004	Clark-Carter D: „Quantitative psychological research: A student's handbook“ Psychology press Hove, UK. 2004.

Cohen et al., 1997	Cohen HL, Porjesz B, Begleiter H, Wang W (1997): „Neurophysiological correlates of response production and inhibition in alcoholics.“ Alcohol Clin Exp Res 21:1398-1406.
Creutzfeldt und Kuhnt, 1967	Creutzfeld OD und Kuhnt U (1967): “The visual evoked potential: Physiological, developmental and clinical aspects.” Electroencephalogr Clin Neurophysiol (Suppl) 26: 29-41
Creutzfeldt und Kuhnt, 1973	Creutzfeld OD und Kuhnt U (1973): “Electrophysiology and topographical distribution of visual evoked potentials in animals. In: Jung F (ed) Central processing of visual information.” Springer, Berlin Heidelberg New York (Handbook of sensory physiology, vol VII/3p: 595-637).
Deldin et al. 1994	Patricia J. Deldin, Connie C. Duncan, Gregory A. Miller: „Season, gender, and P300“; Biological Psychology: Volume 39, Issue 1, December 1994, Pages 15–28
Derogatis, 1977	Derogatis LR: „SCL-90-R, administration, scoring & procedure manual-I for the R(evised) version“ John Hopkins University School of Medicine, Baltimore. 1977.
Díaz et al., 1998	Díaz F, Amenedo E: „Ageing effects on flash visual evoked potentials (FVEP) recorded from parietal and occipital electrodes“, Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology, 1998. 28(5):399-412.
Donchin et al., 1978	Donchin E, Ritter W, McCallum WC: „Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP“ In: “Event-related brain potentials in man”, Callaway E, Tueting P, Koslow SH. Academic Press. 1978.
Donchin & Coles, 1988	Donchin E., Coles M. H. G. (1988): „Is the P300 component a manifestation of context updating?“ Behav Brain Sci 11: 355-372

Donkers et al., 2004	Donkers FCL, van Boxtel GJM: „The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition“ Brain And Cognition, 2004. 56(2):165-76.
Drechsler, R., 2007	Drechsler Renate: „Exekutive Funktionen Taxonomie und Übersicht“ Zeitschrift für Neuropsychologie – Volume 18, Number 3/2007; Verlag Hans Huber; 10.1024/1016-264X.18.3.233
Endrass et al., 2013	Endrass T, Koehne S, Riesel A, Kathmann N: „Neural Correlates of Feedback Processing in Obsessive-Compulsive Disorder.“ J Abnorm Psychol. 2013 Feb 18. [Epub ahead of print]: PMID: 23421527.
http://www.neurolabor.de/ereigniskorreliert.pdf	Fachbereich I – Psychologie, Psychophysiologische Methodik, Universität Trier: „Ereigniskorrelierte Potentiale eine kurze Einführung“, 2003; Stand: 22.12.14
Falkenstein et al., 1999	Falkenstein M, Hoormann J, Hohnsbein J: „ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition“ Acta Psychologica, 1999. 101(2-3):267-291.
Fallgatter et al., 1998	Fallgatter AJ, Wiesbeck GA, Weijers HG, Boening J, Strik WK (1998): „Event-related correlates of response suppression as indicators of novelty seeking in alcoholics.“ Alcohol Alcohol 33:475-481.
Fallgatter et al., 1999	Falgatter Andreas, Werner K. Strik: „The NoGo-anteriorization as a neurophysiological standard-index for cognitive response control.“, International Journal of Psychophysiology: Volume 32, Issue 3, 1 June 1999, Pages 233–238

Fallgatter et al., 2001a	Fallgatter AJ, Bartsch AJ, Strik WK, Mueller TJ, Eisenack SS, Neuhauser B, Aranda D, Herrmann MJ.: „Test-retest reliability of electrophysiological parameters related to cognitive motor control.“ Clin Neurophysiol. 2001 Jan;112(1):198-204.
Fallgatter, 2001b	Fallgatter AJ.: „Electrophysiology of the prefrontal cortex in healthy controls and schizophrenic patients: a review.“ J Neural Transm. 2001;108(6):679-94.
Fein et al., 2011	Fein G, Andrew C.: „Event-related potentials during visual target detection in treatment-naïve active alcoholics.“ Alcohol Clin Exp Res. 2011 Jun;35(6):1171-9. doi: 10.1111/j.1530-0277.2011.01450.x. Epub 2011 Feb 25.
Filevich et al., 2013	Filevich E, Vanneste P, Brass M, Fias W, Haggard P, Kühn S.: „Brain correlates of subjective freedom of choice.“ Conscious Cogn. 2013 Dec;22(4):1271-84. doi: 10.1016/j.concog.2013.08.011. Epub 2013 Sep 8.
Forstmann et al., 2006	Forstmann BU, Brass M, Koch I, von Cramon DY: „Voluntary selection of task sets revealed by functional magnetic resonance imaging“ Journal of Cognitive Neuroscience, 2006. 18(3):388-98.
Forstmann et al., 2007	Forstmann BU, Brass M, Koch I.: „Methodological and empirical issues when dissociating cue-related from task-related processes in the explicit task-cuing procedure.“, Psychol Res. 2007 Jul;71(4):393-400. Epub 2006 Jan 6.

Fried et al., 2011	Itzhak Fried, Roy Mukamel, Kreiman Gabriel: „Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition.“ <i>Neuron</i> . 2011 February 10; 69(39): 548-562.
Friedman et al., 1993	Friedman D, Simpson G, Hamberger M: „Age-related changes in scalp topography to novel and target stimuli“ <i>Psychophysiology</i> , 1993. 30(4):383-96.
Friedman et al., 1994	Friedman D, Simpson GV: „ERP amplitude and scalp distribution to target and novel events: effects of temporal order in young, middle-aged and older adults“ <i>Brain Research. Cognitive Brain Research</i> , 1994. 2(1):49-63.
Friedman et al., 1997	Friedman D, Kazmerski V, Fabiani M: „An overview of age-related changes in the scalp distribution of P3b“ <i>Electroencephalography And Clinical Neurophysiology</i> , 1997. 104(6):498-513.
Friedmann et al., 2001	Friedman, D., Cycowicz, Y. M. & Gaeta, H. (2001). The novelty p3: an event-related brain potential (erp) sign of the brain's evaluation of novelty. <i>Neuroscience and Biobehavioral Reviews</i> , 25, 355–373.
Friston et al., 1998	Friston KJ, Fletcher P, Josephs O, Holmes A, Rugg MD, Turner R (1998). „Event-related fMRI: characterizing differential responses.“ <i>Neuroimage</i> 7:30-40.
Gajewski et al., 2008	Gajewski PD, Stoerig P, Falkenstein M.:„ERP-correlates of response selection in a response conflict paradigm“ <i>Brain Research</i> , 2008. 1189:127-34.

Gecy et al., 1999	Geczy I, Czigler I, Balazs L (1999): „Effects of cue information on response production and inhibition measured by event-related potentials.“ Acta Physiol Hung 86:37-44.
Gilmore, 1995	Gilmore R: „Evoked potentials in the elderly“ Journal of Clinical Neurophysiology : Official Publication of the American Electroencephalographic Society, 1995. 12(2):132-8.
Gordon et al., 2005	Gordon E, Cooper N, Rennie C, Hermens D, Williams LM.: „Integrative neuroscience: the role of a standardized database.“ Clin EEG Neurosci. 2005 Apr;36(2):64-75.
Goschke T.,2002	Goschke T.,2002; „Volition und kognitive Kontrolle“; Allgemeine Psychologie: 271-335; Müsseler J., Prinz W.(Hrsg); Heidelberg: Spektrum
Gwiggner, N., 2004	Gwiggner, Nadja, 2004: „Die exekutiven Funktionen im Jugendalter“ Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät
Hegerl et al, 1985	Hegerl U, Klotz S, Ulrich G (1985): „[Late acoustically evoked potentials--effect of age, sex and different study conditions]. „ EEG EMG Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb 16:171-178.

Hegerl, 1998	<p>Hegerl U:</p> <p>„Ereigniskorrelierte Potentiale“</p> <p>In: “Neurophysiologische Untersuchungen in der Psychiatrie: EEG, EKP, Schlafpolygraphie, Motorik, autonome Funktionen”, Hegerl U. Wien: Springer. 1998.</p>
Hoffstaetter et al., 2013	<p>Hoffstaedter F, Grefkes C, Zilles K, Eickhoff SB.:</p> <p>„The "what" and "when" of self-initiated movements.“ Cereb Cortex. 2013 Mar;23(3):520-30. doi: 10.1093/cercor/bhr391. Epub 2012 Mar 13.</p>
Ischbeck et al., 2011	<p>Ischebeck M, Endrass T, Simon D, Kathmann N: „Auditory novelty processing is enhanced in obsessive-compulsive disorder.“ <i>Depress Anxiety</i>. 2011 Oct 3;28(10):915-23. doi: 10.1002/da.20886. Epub 2011 Sep 2.</p>
Iragui et al., 1993	<p>Iragui VJ, Kutas M, Mitchiner MR, Hillyard SA:</p> <p>„Effects of aging on event-related brain potentials and reaction times in an auditory oddball task“ <i>Psychophysiology</i>, 1993. 30:10-10.</p>
Jahanshahi M.,1998	<p>Jahanshahi M.:</p> <p>„Willed action and its impairments.“ <i>Cogn Neuropsychol</i>. 1998 Sep 1;15(6-8):483-533. doi: 10.1080/026432998381005.</p>
Juckel et al., 2012	<p>Juckel G, Karch S, Kawohl W, Kirsch V, Jäger L, Leicht G, Lutz J, Stammel A, Pogarell O, Ertl M, Reiser M, Hegerl U, Möller HJ, Mulert C:</p> <p>„Age effects on the P300 potential and the corresponding fMRI BOLD-signal.“ <i>Neuroimage</i>. 2012 May 1;60(4):2027-34. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.02.019. Epub 2012 Feb 17.</p>

<p>Kamarajan et al., 2005a</p>	<p>Kamarajan et al., 2005a Kamarajan C, Porjesz B, Jones KA, Chorlian DB, Padmanabhapillai A, Rangaswamy M, Stimus AT, Begleiter H:</p> <p>„Spatial-anatomical mapping of NoGo-P3 in the offspring of alcoholics: evidence of cognitive and neural disinhibition as a risk for alcoholism“</p> <p>Clinical Neurophysiology : Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 2005. 116(5):1049-61.</p>
<p>Kamarajan et al., 2005b</p>	<p>Kamarajan C, Porjesz B, Jones KA, Choi K, Chorlian DB, Padmanabhapillai A, Rangaswamy M, Stimus AT, Begleiter H (2005):</p> <p>„Alcoholism is a disinhibitory disorder: neurophysiological evidence from a Go/No-Go task.“ Biol Psychol 69:353-373.</p>
<p>Karch et al., 2009</p>	<p>Karch S, Mulert C, Thalmeier T, Lutz J, Leicht G, Meindl T, Moller HJ, Jager L, Pogarell O (2009):</p> <p>„The free choice whether or not to respond after stimulus presentation., Hum Brain Mapp 30:2971-2985.</p>
<p>Karch et al., 2010a</p>	<p>Karch S, Feuerecker R, Leicht G, Meindl T, Hantschk I, Kirsch V, Ertl M, Lutz J, Pogarell O, Mulert C:</p> <p>„Separating distinct aspects of the voluntary selection between response alternatives: N2- and P3-related BOLD responses“</p> <p>NeuroImage, 2010. 51(1):356-364.</p>

<p>Karch et al., 2010b</p>	<p>Karch S, Thalmeier T, Lutz J, Cerovecki A, Opgen-Rhein M, Hock B, Leicht G, Hennig-Fast K, Meindl T, Riedel M, Mulert C, Pogarell O:</p> <p>„Neural correlates (ERP/fMRI) of voluntary selection in adult ADHD patients“</p> <p>European Archives of Psychiatry And Clinical Neuroscience, 2010. 260(5):427- 40.</p>
<p>Karch et al., 2012</p>	<p>Karch S, Segmiller F, Hantschk I, Cerovecki A, Opgen-Rhein M, Hock B, Dargel S, Leicht G, Hennig-Fast K, Riedel M, Pogarell O:</p> <p>„Increased gamma oscillations during voluntary selection processes in adult patients with attention deficit/hyperactivity disorder.“</p> <p>J Psychiatr Res. 2012 Nov;46(11):1515-23. doi: 10.1016/j.jpsychires.2012.07.017. Epub 2012 Aug 22.</p>
<p>Kida et al., 2003</p>	<p>Kida T, Nishihira Y, Hatta A, Wasaka T, Nakata H, Sakamoto M, Nakajima T.:</p> <p>„Changes in the somatosensory N250 and P300 by the variation of reaction time.“ Eur J Appl Physiol. 2003 May;89(3-4):326-30. Epub 2003 Mar 18.</p>
<p>Kim et al., 2007</p>	<p>Kim M. S., Kim Y. Y., Yoo S. Y., Kwon J. S. (2007):</p> <p>Electrophysiological correlates of behavioral response inhibition in patients with obsessive-compulsive disorder; <i>Depress Anxiety</i>. 2007; 24(1): 22-31</p>
<p>Kinoshita et al., 1995</p>	<p>Kinoshita S, Maeda H, Nakamura J, Kodama E, Morita K.:</p> <p>„Reliability of the probability effect on event-related potentials during repeated testing.“ <i>Kurume Med J</i>. 1995;42(4):199-210.</p>

Kinoshita et al., 1996	Kinoshita S, Inoue M, Maeda H, Nakamura J, Morita K.: „Long-term patterns of change in ERPs across repeated measurements.“ Physiol Behav. 1996 Oct;60(4):1087-92.
Kopp et al., 2007	Kopp B, Tabeing S, Moschner C, Wessel K.; „Temporal dynamics of selective attention and conflict resolution during cross-dimensional Go-NoGo decisions.“, BMC Neurosci. 2007 Aug 17;8:68.
Kutas et al., 1994	Kutas M, Iragui V, Hillyard SA: „Effects of aging on event-related brain potentials (ERPs) in a visual detection task“ Electroencephalography And Clinical Neurophysiology, 1994. 92(2):126-39.
Kügler et al., 1993	Kügler CF, Taghavy A, Platt D: „the event-related P300 potential analysis of cognitive human brain aging: a review“ Gerontology, 1993. 39(5):280-303.
Kühn et al., 2009	Kühn S, Brass M: „When doing nothing is an option: the neural correlates of deciding whether to act or not“ NeuroImage, 2009. 46(4):1187-93.
Krain et al., 2006	Krain A. L., Wilson A. M., Arbuckle R., Castellanos F. X., Milham M. P. (2006): „Distinct neural mechanisms of risk and ambiguity: a meta-analysis of decision-making“; Neuroimage. 2006 Aug 1; 32(1): 477-84

Krieghoff et al., 2009	<p>Krieghoff V, Brass M, Prinz W, Waszak F.:</p> <p>„Dissociating what and when of intentional actions.“</p> <p>Front Hum Neurosci. 2009 Feb 26;3:3. doi: 10.3389/neuro.09.003.2009. eCollection 2009</p>
Krieghoff et al., 2011	<p>Krieghoff V, Waszak F, Prinz W, Brass M.:</p> <p>„Neural and behavioral correlates of intentional actions.“</p> <p>Neuropsychologia. 2011 Apr;49(5):767-76. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.025. Epub 2011 Jan 19.</p>
Lau et al., 2004	<p>Lau HC, Rogers RD, Haggard P, Passingham RE: „Attention to intention.“ Science; 2004; 303: 1208-1210.</p>
Laux et al., 1981	<p>Laux L, Glanzmann P, Schaffner P, Spielberger CD:</p> <p>„Das State-Trait-Angstinventar (STAI)“Beltz, Weinheim. 1981.</p>
Lavric et al., 2004	<p>Lavric A, Pizzagalli DA, Forstmeier S:</p> <p>„When 'go' and 'nogo' are equally frequent: ERP components and cortical tomography“</p> <p>The European Journal of Neuroscience, 2004. 20(9):2483-8.</p>
Lezak et al., 2004	<p>Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, Hannay HJ, Fischer JS:</p> <p>„Neuropsychological Assessment“</p> <p>New York: Oxford University Press. 2004.</p>
Magliero et al., 1984	<p>Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. & Donchin, E. (1984).</p> <p>„On the dependence of p300 latency on stimulus evaluation processes.“ Psychophysiology, 21(2), 171-186.</p>

von Cramon, M. 2000	Matthes-von Cramon G, von Cramon DY (2000): „Störung der exekutiven Funktionen“. In: Sturm W, Herrmann M, Wallesch C (Eds.). Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie. Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse.
Meier et al., 2012	Meier NM, Perrig W, Koenig T: „Neurophysiological correlates of delinquent behaviour in adult subjects with ADHD.“, Int J Psychophysiol. 2012 Apr;84(1):1-16. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.12.011. Epub 2012 Jan 13.
Misra et al., 1985	Misra N, Mahajan KK, Maini BK: „Comparative study of visual and auditory reaction time of hands and feet in males and females.“ Indian J Physiol Pharmacol. 1985 Oct-Dec;29(4):213-8.
Möller et al., 2005	Möller H. J., Laux G., Kapfhammer H. P. (2005): Psychiatrie und Psychotherapie; 3. Auflage; Band 2: Spezielle Psychiatrie; Springer-Verlag GmbH 2005
Monsell et al., 2000	Monsell S, Driver J: „Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII“; Cambridge: The MIT Press. 2000.
Mori K. et al., 2012	Mori K, Morita K, Shoji Y, Matsuoka T, Fujiki R, Uchimura N.: „State and trait markers of emotionally charged visual event-related potentials (P300) in drug-naïve schizophrenia“. Psychiatry Clin Neurosci. 2012 Jun;66(4):261-9. doi: 10.1111/j.1440-1819.2012.02345.x.

<p>Mulert et al., 2004</p>	<p><i>Mulert C, Pogarell O, Juckel G, Rujescu D, Giegling I, Rupp D, Mavrogiorgou P, Bussfeld P, Gallinat J, Möller HJ, Hegerl U:</i></p> <p>„The neural basis of the P300 potential. Focus on the time-course of the underlying cortical generators“</p> <p>European Archives of Psychiatry And Clinical Neuroscience, 2004. 254(3):190- 8.</p>
<p>Mulert et al., 2005</p>	<p>Mulert C, Menzinger E, Leicht G, Pogarell O, Hegerl U:</p> <p>„Evidence for a close relationship between conscious effort and anterior cingulate cortex activity“</p> <p>International Journal of Psychophysiology : Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 2005. 56(1):65-80.</p>
<p>Näätänen R., 1986</p>	<p>Näätänen R. (1986): „A classification of N2 kinds of ERP components“; Cerebral Psychophysiology; McCallum C. W., Zappoli R., Denoth F. (Eds.); Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1986; 38: 169-172</p>
<p>Näätänen R., 1990</p>	<p>Näätänen R. (1990):</p> <p>„The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function“; Behav. Brain Sci. 1990; 13: 201–288</p>
<p>Nachev et al., 2005</p>	<p>Nachev P., Rees G., Parton A., Kennard C., Husain M.:</p> <p>„Volition and conflict in human medial frontal cortex.“</p> <p>Curr Biol. 2005 Jan 26; 15(2): 122-8.</p>
<p>Nakata et al., 2012</p>	<p>Nakata H, Sakamoto K, Kakigi R.:</p> <p>„The relationship between reaction time and response variability and somatosensory No-go potentials.“</p>

	Eur J Appl Physiol. 2012 Jan;112(1):207-14. doi: 10.1007/s00421-011-1973-5. Epub 2011 Apr 26.
Nieuwenhuis et al., 2003	Nieuwenhuis S, Yeung N, van den Wildenberg W, Ridderinkhof KR. 2003: „Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task: effects of response conflict and trial type frequency.“ Cogn Affect Behav Neurosci. 2003 Mar;3(1):17-26.
Norman & Shallice, 1986	Norman W, Shallice T. 1986: „Attention to action.“ In: Davidson RJ, Schwartz GE, Shapiro D, editors. Consciousness and self regulation: Advances in research and theory, vol. 4. New York: Plenum, p 1–18.
Nunez und Silberstein, 2000	Nunez PL, Silberstein RB, 2000: „On the relationship of synaptic activity to macroscopic measurements: does co-registration of EEG with fMRI make sense?“ Brain Topogr 13:79-96
Parra et al., 2012	Parra MA, Ascencio LL, Urquina HF, Manes F, Ibáñez AM: „P300 and neuropsychological assessment in mild cognitive impairment and Alzheimer dementia.“ Front Neurol. 2012;3:172. doi: 10.3389/fneur.2012.00172. Epub 2012 Dec 5.
Pedroso et al., 2012	Pedroso RV, Fraga FJ, Corazza DI, Andreatto CA, Coelho FG, Costa JL, Santos-Galduróz RF: „P300 latency and amplitude in Alzheimer's disease: a systematic review.“ Braz J Otorhinolaryngol. 2012 Jul-Aug;78(4):126-32.
Picton et al., 1984	Picton TW, Stuss DT, Champagne SC, Nelsen RF (1984): “The effects of age on human event-related potentials.” Psychophysiol 21: 312-337.

Picton and Hillyard 1988	Picton TW, Hillyard SA (1988): “Endogenous event-related potentials.” In: TW Picton (Ed.) Human Event-Related Potentials-Handbook of Electroencephal Clin Neurophysiology, Vol. 3. Amsterdam, Elsevier: 361-426.
Polich & Kok, 1995	Polich J, Kok A (1995): „Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review.“ Biol Psychol 41:103-146.
Polich, 1996	Polich J: „Meta-analysis of P300 normative aging studies“ Psychophysiology, 1996. 33(4):334-53.
Popescu, A 2005	Popescu, Alexandru Vlad (2005): „Hirnfunktionelle Korrelate bei Zwangsstörungen: Untersuchung mit ereigniskorrelierten Potentialen.“ Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät
Pritchard et al., 1991	Pritchard W. S., Shapell S. A., Brandt M. E., 1991: „Psychophysiology of N200/N400: A review and classificationscheme“; Advances in Psychophysiology 1991; 4: 43-106
Raichle et al., 2001	M. E., MacLeod A. M., Snyder A. Z., Powers W. J., Gusnard D. A., Shulman G. L. (2001): „A default mode of brain function“; Proc Natl Acad Sci U S A. 2001 Jan 16; 98(2): 676-82
Randall and Smith 2011	Randall WM, Smith JL.: „Conflict and inhibition in the cued-Go/NoGo task.“ Clin Neurophysiol. 2011 Dec;122(12):2400-7. doi: 10.1016/j.clinph.2011.05.012. Epub 2011 Jun 28.

Ritter et al., 1982	Ritter W, Simson R, Vaughan Jr HG, Macht M: „Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages“ Science (New York, N.Y.), 1982. 218(4575):909-11.
Ritter et al., 1983	Ritter W, Simson R, Vaughan Jr HG: „Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks“ Psychophysiology, 1983. 20(2):168-79.
Roca et al., 2013	Roca P, Mulas F, Gandia R, Ortiz-Sanchez P, Abad L: „[Executive functioning and evoked potentials P300 pre- and post- treatment in attention deficit hyperactivity disorder].“ Rev Neurol. 2013 Feb 22;56 Suppl 1:S107-18.
Rugg, 1995	Rugg, M.D. (1995): ERP studies of memory. In Electrophysiology of Mind (ed M.D. Rugg and M.G.H. Coles). New York: Oxford University Press, pp. 132–170.
Salisbury et al., 2004	Salisbury DF, Griggs CB, Shenton ME, McCarley RW (2004): The NoGo P300 'anteriorization' effect and response inhibition. Clin Neurophysiol 115:1550-1558.
Schneider, 2006	Schneider F.: „Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie“; Springer. 2006.
Schneider et al., 2007	Schneider F., Fink G. R. (2007): Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie; Springer-Verlag Berlin, 2007
Schwenkmezger et al., 1992	Schwenkmezger P, Hodapp V, Spielberger CD: „Das State-Trait-Ärgerausdrucks-Inventar (STAXI)“; Huber. 1992.

Segalowitz et al., 1993	Segalowitz SJ, Barnes KL.: „The reliability of ERP components in the auditory oddball paradigm.“ Psychophysiology. 1993 Sep;30(5):451-9.
Smith et al., 1999	Smith EE, Jonides J: „Storage and executive processes in the frontal lobes“ Science (New York, N.Y.), 1999. 283(5408):1657.
Smith et al., 2006	Smith JL, Johnstone SJ, Barry RJ (2006): „Effects of pre-stimulus processing on subsequent events in a warned Go/NoGo paradigm: response preparation, execution and inhibition.“ Int J Psychophysiol 61:121-133
Smith et al., 2010	Smith JL, Smith EA, Provost AL, Heathcote A., 2010: „Sequence effects support the conflict theory of N2 and P3 in the Go/NoGo task.“, Int J Psychophysiol. 2010 Mar;75(3):217-26. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2009.11.002. Epub 2009 Dec 3.
Smith, 2011	Smith: „To go or not to go, that is the question: do the N2 and P3 reflect stimulus- or response-related conflict?“, Int J Psychophysiol. 2011 Nov;82(2):143-52. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.07.019. Epub 2011 Aug 16.
Soon et al., 2008	SoonCS, Brass M, Heinze HJ, Haynes JD.: „Unconscious determinants of free decision in the human brain.“; Nat Neurosci. 2008;11:543-545.
Squires et al., 1975	Squires N. K., Squires K. C., Hillyard S. A. (1975): „Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man“;

	Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1975 Apr; 38(4): 387-401
Squires et al., 1977	Squires K. C., Donchin E., Herning R. J., McCarthy G. (1977): „On the influence of task relevance and stimulus probability on event-related potential components“; Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1977 Jan; 42(1): 1-14
Simons et al., 2011	Simons, CJ; Sambeth A, Krabbendam L, Pfeifer S, van Os J, Riedel WJ. : „Auditory P300 and N100 components as intermediate phenotypes for psychotic disorder: familial liability and reliability.“ Clin Neurophysiol 2011 Oct;122(10):1984-90. Doi: 10. 1016/j.clinph.2011.02.033. Epub 2011 Apr 1.
Srinivasan et al., 1996	Srinivasan R, Nunez PL, Tucker DM, Silberstein RB, Cadusch PJ (1996): „Spatial sampling and filtering of EEG with spline laplacians to estimate cortical potentials.“; Brain Topogr 8:355-366
Srinivasan et al., 1998	Srinivasan R, Nunez PL, Silberstein RB (1998): „Spatial filtering and neocortical dynamics: estimates of EEG coherence.“ IEEE Trans Biomed Eng 45:814-826
Sturm, W. 2000	Sturm, W. 2000: Forschungsmethoden der Neuropsychologie. In Sturm, W., Herrmann, M., Wallesch, C.-W. (Hrsg.): Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie. Swets & Zeitlinger, Lisse 2000
Stuss & Benson, 1986	Stuss, D.T. & Benson, D.F.: „The frontal lobes“ (pp. 180-193) New York: Raven Press

Störmann S., 2012	Störmann Sylvère, 2012: „Untersuchung von Alterseffekten auf neuronale Korrelate exekutiver Funktionen und ihrer Lokalisation“; Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät
Sutton et al., 1965	Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. & John, E. (1965): „Evoked potential correlates of stimulus uncertainty.“ Science, 150, 1187–1188.
Thalmeier T., 2009	Thalmeier Tobias, 2009: „Neuronale Korrelate von Entscheidungsprozessen bei Gesunden und Patienten mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung [ADHS], Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät
Trevena et al., 2002	Trevena JA, Miller J.: „Cortical movement preparation before and after conscious decision to move.“; Conscious Cogn. 2002;11:162-190. Discussion 314-125.
Tukey, 1977	Tukey JW: „Exploratory data analysis“ Addison-Wesley. 1977.
Verleger et al., 1994	Verleger R, Heide W, Butt C, Kömpf D.: „Reduction of P3b in patients with temporo-parietal lesions.“, Brain Res Cogn Brain Res. 1994 Sep;2(2):103-16.
Verleger, 1997	Verleger, R. (1997): „On the utility of p3 latency as an index of mental chronometry.“ Psychophysiology, 34, 131–156.
Walhovd wt al., 2002	Walhovd KB, Fjell AM.: „One-year test-retest reliability of auditory ERPs in young and

	old adults.“ Int J Psychophysiol. 2002 Oct;46(1):29-40.
Williams et al., 2005	Williams LM, Simms E, Clark CR, Paul RH, Rowe D, Gordon E.: „The test-retest reliability of a standardized neurocognitive and neurophysiological test battery: „neuromarker“.“ Int J Neurosci. 2005 Dec; 115(12): 1605-30.
World Medical Association, 2000	World Medical Association: „Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects.“ JAMA : the Journal of the American Medical Association, 2000. 284:3043-3045.
Yamaguchi et al., 1991	Yamaguchi S, Knight RT: „Age effects on the P300 to novel somatosensory stimuli“; Electroencephalography And Clinical Neurophysiology, 1991. 78(4):297-301.
Yong-Liang et al., 2000	Yong-Liang G, Robaey P, Karayanidis F, Bourassa M, Pelletier G, Geoffroy G (2000): „ERPs and behavioral inhibition in a Go/No-go task in children with attention-deficit hyperactivity disorder.“ Brain Cogn 43:215-220.
Zhang et al 2012	Zhang J, Hughes LE, Rowe JB, 2012: „Selection and inhibition mechanisms for human voluntary action decisions.“; Neuroimage. 2012 Oct 15;63(1):392-402. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.058. Epub 2012 Jul 6.

<p>Zhao et al., 2011</p>	<p>Zhao YL, Tan SP, Yang FD, Wang LL, Feng WF, Chan RC, Gao X, Zhou DF, Li BB, Song CS, Fan FM, Tan YL, Zhang JG, Wang YH, Zou YZ:</p> <p>„Dysfunction in different phases of working memory in schizophrenia: evidence from ERP recordings.“</p> <p>Schizophr Res. 2011 Dec;133(1-3):112-9. doi: 10.1016/j.schres.2011.09.017. Epub 2011 Oct 19.</p>
<p>Zhang und Hirsch, 2013</p>	<p>Zhang X. und Hirsch J., 2013:</p> <p>„The temporal derivative of expected utility: a neural mechanism for dynamic decision-making.“</p> <p>Neuroimage. 2013 Jan 15;65:223-30. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.08.063. Epub 2012 Aug 30.</p>
<p>Zschoke, 2011</p>	<p>Stephan Zschocke, Hans-Christian Hansen:</p> <p>„Klinische Elektroenzephalographie“. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag; 2011. 3. Auflage. ISBN 978-3-642-19942-4.</p>

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.2.1.1	Experimentelle Bedingung eines Durchlaufes des „Ja-nein-Paradigmas“
Tabelle 2.2.2.1	Experimentelle Bedingung eines Durchlaufes des „Re-li-Paradigmas“
Tabelle 2.5.3.2.1	Demographische Daten: M = Mittelwert und S = Standardabweichung
Tabelle 2.5.4.2.1	Ergebnisse des STATE-TRAIT-ANGST-Inventars: M = Mittelwert, S = Standardabweichung
Tabelle 2.5.4.3.1	Ergebnisse des STATE-TRAIT-ÄRGER-AUSDRUCKS-Inventars, „Kriterium aktueller Ärger“: Vergleich Vormittag versus Nachmittag sowie Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung
Tabelle 2.5.4.3.2	Ergebnisse des STATE-TRAIT-ÄRGER-AUSDRUCKS-Inventars: Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung
Tabelle 2.5.4.5.1	Ergebnisse der Visuellen-Analog-Skala für die Kriterien Schwierigkeit, Mühe, Anstrengung und Leistung: jeweils Vergleich Vormittag versus Nachmittag beider Paradigmen sowie Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung
Tabelle 2.5.4.7.1	Ergebnisse des NEO-Fünf-Faktoren-Inventars (NEO-FFI) für die Kriterien Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit: jeweils Vergleich Ja-nein-Paradigma versus Re-li-Paradigma: M = Mittelwert und S = Standardabweichung
Tabelle 3.0.1	„Ja-nein-Paradigma“ (vorm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): n = Anzahl
Tabelle 3.0.2	„Ja-nein-Paradigma“ (nachm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): n = Anzahl
Tabelle 3.0.3	„Re-li-Paradigma“ (vorm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): n = Anzahl
Tabelle 3.0.4	„Re-li-Paradigma“ (nachm.): Anzahl der nach Artefaktkorrektur berücksichtigten EEG-Segmente in Relation zu den präsentierten Experimentalbedingungen insgesamt (Durchschnittswerte): n = Anzahl

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1.1.2.1	Schematische Zeichnung ereigniskorrelierter Potenziale mit logarithmischer Zeitachse (Störmann, 2012)
Abbildung 1.1.1.2.2	Ereigniskorrelierte Potentiale (orient. an Birbaumer et al., 2006)
Abbildung 2.2.0	Schema der Versuchsanordnung
Abbildung 2.3.3.1	Schematische Zeichnung zur Aufzeichnung verwendeter Elektroden: einfach voll umrandete Elektroden: Standardelektroden des internationalen 10/20-Systems der American Electroencephalographic Society, 1991; gepunktet umrandet: Zusatzelektroden; doppelt umrandet: EOG- sowie Mastoidelektroden
Abbildung 2.3.4.1	Kontinuierliches EEG – Rohdaten orientiert an (Hegerl, 1998)
Abbildung 3.2.0.1	Übersicht beider Paradigmen: N=27, schwarz: Go; rot: NoGo; grün: Volition; Darstellung des Mittelwertes bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ;
Abbildung 3.2.1.1.1	Vergleich Vor-/Nachmittag: N=14, Volition: Reaktion ja/nein; schwarz: Volition vormittags; rot: Volition nachmittags; Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: die wiederholte Darbietung des Experiments führte zu keinen signifikanten Unterschieden bei der N200- beziehungsweise P300-Amplitude.
Abbildung 3.2.1.2.1	Vergleich Reaktion links/Reaktion rechts: N=13, Volition: schwarz: Volition links; rot: Volition rechts; Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: Die Reaktionen mit der rechten beziehungsweise linken Taste führte zu keinen signifikanten Unterschieden bei der N200- beziehungsweise P300-Amplitude.
Abbildung 3.2.1.3.1	Übersicht beider Paradigmen: N=27, schwarz: Go; rot: NoGo; grün: Volition; Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale (beide Paradigmen, vor- und nachmittags): stärker ausgeprägter N200-Amplitude bei der Volition-Bedingung im Vergleich zu der Inhibitions- (NoGo) und Go-Bedingung. P300-Amplitude bei der Inhibition von Verhaltenstendenzen am deutlichsten ausgeprägt
Abbildung 3.2.1.4.1	Vergleich der Entscheidungsbedingungen beider Paradigmen: N=27, Volition: schwarz: Volition Reaktion ja/nein; rot: Volition rechts/links; Darstellung des Grand Average bei Fz und Cz; X – Achse: Zeit in ms; Y- Achse: Amplitudenwerte in μV ; Evozierte Potentiale: Vergleich der Entscheidungsbedingungen: Reaktion/keine Reaktion bzw. Reaktion mit links/Reaktion mit rechts: Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede der N200 bzw. P300 zwischen den Bedingungen.

9. Danksagung

Zu aller erst gehört mein aufrichtiger Dank PD Dr. Dipl.-Psych. Susanne Karch und Professor Dr. med. Oliver Pogarell: Einerseits für die Chance und das Vertrauen, mich mit einem solch umfangreichen Projekt zu betrauen. Zum anderen für die Geduld, Leidenschaft, Beharrlichkeit, Hilfestellung, Unterstützung, Empathie, Förderung sowie Unterweisung, die mir entgegen gebracht wurden. Ganz besonders möchte ich mich bei Susanne Karch dafür bedanken, ein gewisses Ausmaß an Eigensinnigkeit bishin zur Sturheit meinerseits - insbesondere an dem Anfang unserer Zusammenarbeit - ausgehalten zu haben und die durch initiale Reibung entstandene Energie in eine harmonische, von Empathie geprägte fruchtbare Zusammenarbeit kanalisiert zu haben. Außergewöhnlich waren sicherlich auch exzellent gewachsene Strukturen sowie die nahezu ständige Verfügbarkeit von Rat, Tat und Unterstützung in dem Rahmen der Begleitung dieses Projektes. In gleichem Maße bin ich Professor Dr. med. Oliver Pogarell verbunden für die zu jederzeit offenen Türen und die Unterstützung sowie Förderung, die weit über die Betreuung der Dissertation hinaus gingen, sei es bei allgemeinen Ratschlägen, bei Bewerbungen generell oder auch bei Anträgen für Stipendien. Eine nicht zu unterschätzende Unterstützung wurde mir bei der Einweisung in das Ableiten von EEGs und während der Gewinnung der Messdaten durch die EEG-Assistentinnen, namentlich Eva Beimler, Beate Dornheim, Irmgard Fischer, Irmgard Hantschk, Gabriele Löser sowie Nicole Obermüller zu teil: Sie standen nicht nur allzeit bereit, bei technischen Schwierigkeiten sondern auch mit freundlichem und humorigem Gemüt, wenn Trost wichtig war. Danke dafür! In dem Zusammenhang Trost, Aufmunterung und Hilfestellung in allen Lebenslagen ist nicht zuletzt Mije Hartmann zu danken (Sekretariat der Abteilung für Neurophysiologie). Bedanken möchte ich mich ebenfalls herzlich für die Aufnahme in ein von Hilfsbereitschaft und Humor geprägtes Klima in unserem Doktorandenzimmer, was Rückschläge und zahlreiche zusammen bestrittene Nachtschichten besser verkraftbar machte. – Danke: Dr. med. Valerie Kirsch, Dr. med. Hanni Kirchner, Dr. med. Regina Feuerecker, Mag. Agnieszka Chrobok, Dr. med. Anna Länger, Dr. Dipl.-Psych. Daniel Keeser, Dr. med. Tobias Thalmeier, Dr. med. Sylvère Störmann, Dr. med. Leopold Zizlsperger und Gregor Dunkel. Nicht zuletzt möchte ich den Probanden danken, die alle so viel Ausdauer und Geduld aufgebracht haben, sich ausnahmslos ein zweites Mal für unsere Experimente zur Verfügung zu stellen, obwohl sie wussten, was sie für 20€-Aufwandsentschädigung erwartet. Ganz besonderer Dank gilt der Friedrich-Ebert-Stiftung für Förderung materieller sowie ideeler Natur und Freundschaft! - Eine große Stütze und Quelle

von neuem Selbstvertrauen sowie Zuversicht, insbesondere nach dem Tod meines Vaters.

Herzlicher Dank gebührt meinen Freunden und Partnern, die sowohl in Zusammenhang mit der Dissertation aufgekommene Verknappung von zeitlichen Ressourcen als auch Frustration verständnisvoll aufgefangen haben. Ganz besonderer Dank gilt der liebe- und verständnisvollen Unterstützung meiner Familie (Christiane und Maria Loy, Maike, Amy sowie Thomas Frisch, Magdalena, Sophia und Robert Auerweck). Meinen Eltern Eva und Dr. med. Gottfried Loy danke ich herzlich für die liebevolle, bedingungslose Unterstützung sowie moderne Haltung, uns Kinder zwar mit Rat und Tat zur Verfügung zu stehen, uns unsere Erfahrungen allerdings eigenverantwortlich erkunden zu lassen.

Eidesstattliche Versicherung

Loy, Fabian

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Reliabilitätsprüfung und Differenzierung von ereigniskorrelierten Potentialen in Zusammenhang mit Entscheidungs- und Verhaltenskontrollprozessen

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 24.08.15

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand